

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD RCM PARA EL ÁREA DE ESMALTADOS EN LA
EMPRESA CARVAJAL PULPA Y PAPEL**

ALFREDO EMIR GORDILLO BETANCOURT

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012**

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD RCM PARA EL ÁREA DE ESMALTADOS EN LA
EMPRESA CARVAJAL PULPA Y PAPEL**

ALFREDO EMIR GORDILLO BETANCOURT

**Pasantía Institucional para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
NOYLAN FORERO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico

CARLOS APONTE

Jurado

HERNANDO GODOY

Jurado

Santiago de Cali, 28 de Septiembre de 2012

Dedico con todo mi amor y gratitud a mis papás ALFREDO y MARDORIS, quienes con un monumental esfuerzo me han respaldado invaluablemente en cada etapa de mi vida; y a JUAN FELIPE a quien presagio un futuro brillante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a ISABEL, a mis amigos y compañeros por su afecto y propicios consejos.

A NOYLAN FORERO y todos mis profesores de la universidad por sus excepcionales aportes a mi formación profesional.

A ALEJANDRO ROBLEDO, HERNANDO GODOY, personal de Mantenimiento Central y demás colaboradores de Carvajal Pulpa y Papel por la ayuda y orientación ofrecida.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	13
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. MARCO REFERENCIAL	21
5. DISEÑO METODOLÓGICO	25
5.1 DIVISIÓN ESTRUCTURADA Y SELECCIÓN DEL SISTEMA	25
5.1.1 Recolección de información	25
5.1.2 División estructurada	25
5.1.3 Selección del sistema	26
5.2 DEFINICIÓN DE LAS FRONTERAS	26
5.3 CARACTERIZACIÓN Y MODELADO	27
5.3.1 Descripción del sistema	27
5.3.2 Interfaces de entrada y salida	28
5.3.3 Diagrama funcional de bloques	29

5.3.4 Listado de equipos	29
5.3.5 Historial de fallas	30
5.4 FUNCIONES DEL SISTEMA Y FALLAS FUNCIONALES	30
5.5 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y JERARQUÍA DE FALLAS POTENCIALES	31
5.6 SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO	34
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
6.1 DIVISIÓN ESTRUCTURADA Y SELECCIÓN DEL SISTEMA	36
6.1.1 Colección de información	36
6.1.1.1 División estructurada	36
6.1.2 Selección del sistema	37
6.2 DEFINICIÓN DE LAS FRONTERAS	40
6.3 CARACTERIZACIÓN Y MODELADO	40
6.3.1 Descripción del sistema	40
6.3.2 Interfaces de entrada y salida	41
6.3.3 Diagrama funcional de bloques	43
6.3.4 Listado de equipos	43
6.3.5 Historial de fallas	46
6.4 FUNCIONES DEL SISTEMA Y FALLAS FUNCIONALES	50
6.5 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y JERARQUÍA DE FALLAS POTENCIALES	52
6.6 SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO	71
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94

BIBLIOGRAFIA**95****ANEXOS****96**

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Formato de definición de las fronteras	27
Tabla 2. Formato de descripción del sistema	28
Tabla 3. Interfaces de entrada y salida	28
Tabla 4. Formato del diagrama funcional de bloques	29
Tabla 5. Formato de listado de equipos	29
Tabla 6. Formato de historial de fallas	30
Tabla 7. Formato de funciones y fallas funcionales	31
Tabla 8. Formato de relación Equipo/Falla funcional	32
Tabla 9 Análisis de modos y efectos de falla	32
Tabla 10. Formato de selección de tareas de mantenimiento	35
Tabla 11. Definición de las fronteras	40
Tabla 12. Descripción del subsistema de empalme	41
Tabla 13. Interfaces de entrada y salida	42
Tabla 14. Diagrama funcional de bloques	43

Tabla 15. Listado de equipos	44
Tabla 16. Historial de fallas	47
Tabla 17. Funciones del sistema y fallas funcionales	51
Tabla 18. Relación equipo/falla funcional	54
Tabla 19. Análisis de modos, efectos y jerarquías de fallas potenciales	58
Tabla 20. Selección de las tareas de mantenimiento	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Árbol de clasificación de fallas	34
Figura 2. Árbol de selección de tareas de mantenimiento	35
Figura 3. Resumen esquemático del proceso productivo	37
Figura 4. Diagrama de Pareto de fallas operativas	38
Figura 5. Diagrama esquemático de la mesa de desbobinado	39

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Operación de la mesa de desbobinado	96
Anexo B. Detalles de los equipos	97

GLOSARIO

CALIBRACIÓN: comparación de un dispositivo de medida con un patrón conocido.

CAUSA DE FALLA: mecanismo físico o razones que producen un modo de falla.

CONFIABILIDAD: probabilidad de que un equipo se desempeñe satisfactoriamente por un periodo de tiempo deseado bajo su uso en condiciones específicas.

CONSECUENCIA DE FALLA: impacto de una falla funcional causada por uno o más modos de falla basados en la evidencia de falla y sus efectos adversos sobre la seguridad el ambiente y las operaciones.

EFECTO DE FALLA: consecuencia de un modo de falla sobre operación, función o estado de un equipo o sistema.

EQUIPO: agrupación de piezas en un conjunto identificable que desempeñará por lo menos una función como elemento individual.

FALLA FUNCIONAL: falla de un sistema en desempeñar sus acciones normales características dentro de sus límites específicos.

FALLA OCULTA: falla no evidente al personal operativo o de mantenimiento durante el desarrollo normal de las labores.

FALLA POTENCIAL: síntoma de falla cuantificable que indica que una falla funcional es inminente.

FUNCIÓN: acciones normales características de un sistema.

INSPECCIÓN: observación cualitativa del desempeño o condición de un equipo.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD*: disciplina lógica o método usado para identificar las tareas de mantenimiento preventivo necesarias para alcanzar la confiabilidad inherente de los equipos con menor gasto de recursos.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: reparación o mantenimiento no planeado para devolver un equipo a un estado deseado dado el deterioro o las fallas percibidas en él por el personal operativo o de mantenimiento.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: todas las acciones ejecutadas en un período planeado y regular para conservar un equipo en sus condiciones operativas deseadas a través del proceso de revisión y reacondicionamiento. Estas acciones son medidas preventivas encaminadas a eliminar la probabilidad de fallas o reducirlas a un nivel aceptable de degradación en servicio, antes que corregirlas después de su acontecimiento.

MODO DE FALLA: forma en que la falla es observada, generalmente describe el modo en que esta ocurre.

PLAN DE MANTENIMIENTO: documento que resume los procedimientos administrativos y técnicos a ser usados para mantener un equipo; usualmente describe instalaciones, herramientas, horarios y recursos.

PLANTA: agrupación lógica de sistemas que operan juntos para suministrar un servicio o producto, procesando y manipulando varios insumos y materias primas.

REACONDICIONAMIENTO: inspección y restauración íntegra de un equipo o parte de él a un nivel aceptable durante un tiempo de uso límite.

SISTEMA: agrupación lógica de componentes que ejecutan una serie de funciones claves requeridas en una planta.

TAREAS DE MONITOREO DE CONDICIONES: inspecciones periódicas para detectar fallas potenciales o satisfacer requerimientos de desempeño.

TAREAS DE BÚSQUEDA DE FALLAS: tareas periódicas de revisión, medida o inspección visual de evidencia específica de falla por el personal de mantenimiento.

*RCM por sus siglas en inglés

RESUMEN

El presente proyecto de grado plantea un sistema especializado de decisión fundamentado en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y en el Análisis de Modos Efectos y Jerarquías de Fallas Potenciales*. Efectuado usando un enfoque modular sobre sistemas el cual integra las virtudes de RCM y FMEA para desarrollar un análisis detallado de fallas funcionales. El proceso de análisis se ve soportado por diagramas de decisión los cuales evalúan la factibilidad para seleccionar las tareas de mantenimiento más apropiadas. Más allá del enfoque tradicional de considerar los modos de fallas operativos, se toman en perspectiva los impactos ambientales y de seguridad durante la selección de las tareas de mantenimiento para lograr altos niveles de efectividad y disponibilidad. Finalmente, contribuye a una importante reducción en las pérdidas económicas por paradas de emergencia.

Palabras Claves: Falla Funcional, modo de falla, mantenimiento, sistema

*FMEA por sus siglas en inglés

INTRODUCCIÓN

En el presente documento se encuentran los resultados del proceso de análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, realizado en la planta de Esmaltados de la empresa Carvajal Pulpa y Papel, a través del cual se pretende plantear una posible solución a los problemas de producción dados por las paradas de emergencia.

El desarrollo de este trabajo pretende, con la aplicación de los conocimientos adquiridos en el programa de pregrado de Ingeniería Mecánica, aportar soluciones al medio, en una empresa con una importante participación en el mercado nacional del 24% sin hacer clasificaciones con respecto a los diferentes productos que hay en la industria¹.

Se desarrolla entonces una propuesta de mejoramiento que pueda ser implementada como prueba piloto que sirva de parámetro para que la planta la haga extensiva a otras máquinas de su proceso productivo

¹GODOY, Hernando y MERCADO, Joanna. Guía de optimización de disponibilidad por mantenimiento de una máquina esmaltadora, caso de empresa productora de papel. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en administración de empresas con énfasis en gestión estratégica. Santiago de Cali: Universidad ICESI, facultad de ciencias administrativas y económicas, 2011. 49 p.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Carvajal Pulpa y Papel opera en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca con dos plantas ubicadas estratégicamente cerca de sus proveedores de materia prima, el bagazo de caña de azúcar, un subproducto de la industria azucarera. En el municipio de Yumbo, Valle del Cauca, se encuentra ubicada la primera planta que cuenta con tres máquinas papeleras y una esmaltadora, donde se producen papeles blancos para la impresión y escritura; parte del proceso de acabado superficial consiste en la aplicación de esmalte, por una o ambas caras del papel, para su posterior uso en la elaboración de libros, etiquetas, revistas, impresiones públicas, entre otros.

Actualmente en la producción de los papeles y cartulinas esmaltadas se evidencia una importante desviación de la producción teórica de 320 toneladas diarias, dada por la capacidad instalada en la planta, frente a la producción real de 128 toneladas diarias; de modo que los costos de producción se han elevado considerablemente. Adicionalmente el promedio mensual de paradas por emergencia de los últimos cinco años supera los 13 días/mes, este tiempo pone de manifiesto las frecuentes reparaciones correctivas en la planta; estas acciones realizadas en situación de urgencia, es decir, fuera de la planeación de producción implican entre otros: la fabricación o compra de repuestos, el pago de horas extras al personal de mantenimiento, interrupción de la producción, desperdicios y rechazos hasta que se normalice la operación y el costo de no cumplir con la producción proyectada, lo cual a su vez impacta negativamente en la satisfacción del cliente.

A pesar de que el 18% del presupuesto de la organización se destina a mantenimiento y las acciones preventivas en la planta han incrementado considerablemente a partir del año 2007, no se evidencia una disminución en las paradas de emergencia, lo cual indica que las actividades y estrategias de mantenimiento han sido ineficaces en cantidad, frecuencia y calidad necesarias.

Los planes de mantenimiento han sido establecidos empíricamente y con recomendaciones de los fabricantes, demostrando un desconocimiento de los sistemas presentes en la planta y su interacción, esta situación se ve agravada por una deficiente documentación de las causas de las fallas y las acciones tomadas para su eliminación, mitigación o detección.

El presente proyecto se centra en la sinergia del funcionamiento sincrónico de todos los equipos y no en la sumatoria de sus intervenciones individuales, este enfoque requiere una descripción detallada del estado actual y el

comportamiento deseado de la planta, un estudio detallado de las fallas potenciales, y una posterior selección de las tareas de mantenimiento más apropiadas para que la producción no se vea afectada;

Este proceso de análisis busca responder metódicamente las siguientes preguntas.

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares funcionamiento de los equipos en su contexto operativo presente?
- ¿De qué formas se producen fallas en el desempeño de las funciones?
- ¿Qué causa cada falla funcional?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
- ¿Cuál es la importancia de cada falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir cada falla?
- ¿Qué se puede hacer si una tarea proactiva adecuada no puede ser aplicada?²

² MOUBRAY, John. *Reliability centered maintenance*. 2 ed. New York: Industrial Press inc. 1997. p.7.

2. JUSTIFICACIÓN

Con los resultados del análisis RCM se espera que las funciones de mantenimiento llenen las siguientes expectativas³.

- **Mejor seguridad e integridad ambiental:** RCM considera la seguridad y las implicaciones ambientales de cada modo de falla antes de considerar sus efectos sobre la operación. Esto significa que se toman medidas que minimizan todos los riesgos ambientales y de seguridad relacionados con los equipos, si no es posible eliminarlos totalmente.
- **Mejorar el rendimiento operativo (producción, calidad y servicio al cliente):** RCM reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y provee reglas para decidir cuál es más apropiado para cada situación. Asegura que solo las prácticas de mantenimiento más efectivas sean escogidas para cada equipo y que las acciones más apropiadas sean ejecutadas. Esto centra más estrechamente los esfuerzos de mantenimiento que llevan a una mejor operación de los equipos existentes.
- **Mejor relación de mantenimiento costo-beneficio:** RCM continuamente centra la atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en la operación de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se gaste en mantenimiento proporcione el mayor beneficio. Además reduce la cantidad de rutinas de mantenimiento.
- **Mayor vida útil de los elementos más costosos:** debido a un cuidadoso énfasis en las técnicas de mantenimiento basadas en condición.
- **Base de datos detallada:** Un examen de RCM termina en una base de datos detallada y totalmente documentada de los requerimientos de mantenimiento de todos los equipos significativos para la organización. Esto hace posible adaptarse a circunstancias cambiantes sin tener que considerar todas las políticas de mantenimiento desde cero y proporciona una visión más clara de los repuestos con que debe contar el almacén.

³Ibíd., p. 19.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología de RCM en el área de esmaltados de la empresa Carvajal Pulpa y Papel

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las funciones primarias de los sistemas según su especificación o estándar de funcionamiento.
- Encontrar las formas en que los sistemas pueden perder su funcionalidad (fallo funcional).
- Examinar cada fallo funcional y determinar todos los modos de fallo que podrían causar la pérdida.
- Examinar cada modo de fallo y sus consecuencias según las siguientes 4 categorías: problemas de seguridad, daño ambiental, operacional y no operacional.
- Encontrar una tarea que sea técnicamente posible y detecte la condición antes de la falla o de otra manera evadir las consecuencias.

4. MARCO REFERENCIAL

Las acciones de mantenimiento pueden ser descritas como preventivas y correctivas, cumpliendo como función principal mantener o restaurar, respectivamente, un sistema a un estado de funcionamiento aceptable. Entonces entre los principales objetivos de mantenimiento se encuentra: el mejoramiento de las intervenciones de recuperación y cuidado, y uso óptimo de los recursos disponibles; la reducción de la frecuencia, cantidad, esfuerzo y complejidad de las tareas realizadas, así como una disminución en las habilidades necesarias para su ejecución y el almacenaje de los repuestos requeridos; y por último, el establecimiento de la frecuencia óptima y el grado del mantenimiento preventivo a llevarse a cabo. Un acercamiento a estos objetivos garantiza un rendimiento confiable y seguro de los activos físicos al menor costo posible.

Las técnicas de mantenimiento actuales se enfrentan a la difícil tarea de dar solución satisfactoria a los, cada vez más exigentes, requerimientos de seguridad y confiabilidad, como los ordenados en las aeronaves, submarinos, sistemas aeroespaciales y militares, donde una falla en operación tiene consecuencias peligrosamente destructivas; también al notable incremento de la complejidad de los equipos industriales; y al alto costo de materiales y mano de obra especializada.

Por consiguiente la prestación de servicios y cuidados, por parte del personal involucrado, dirigidos a conservar los equipos e instalaciones en un estado de operación satisfactorio, a través de inspecciones sistemáticas, detección y corrección de fallas incipientes, antes de que estas ocurran o se desarrollen a una mayor; constituye un componente importante en las acciones y esfuerzos del mantenimiento. De esta manera, se establece que los principales objetivos del mantenimiento preventivo son: la reducción de las pérdidas de producción por averías en los equipos, el mejoramiento de la vida útil de aquellos en servicio a través eficientes programas de mantenimiento, y por último la promoción de la salud, seguridad e integridad ambiental

Por su parte, el *Mantenimiento Centrado En Confiabilidad* nace en la industria aeronáutica, sector que en la década de 1950, enfrentaba intolerables costos de mantenimiento; simultáneamente, por experiencia operativa, la *Agencia Federal de Aviación** aprendió que la tasa de falla de ciertos tipos de motores era incontrolable cambiando el contenido y la frecuencia de las revisiones previstas a intervalos fijos. En consecuencia, en 1960, un grupo de trabajo formado por representantes de las compañías aéreas y fabricantes de aeronaves, se creó con el objetivo de estudiar la eficacia de la implementación del mantenimiento

*FAA por sus siglas en inglés

preventivo en la industria aeronáutica, desafiando por primera vez la filosofía imperante del mantenimiento hasta ese entonces, este grupo desarrolló un rudimentario procedimiento para la creación de un programa de mantenimiento preventivo.

Posteriormente, la viabilidad de operación del nuevo avión de pasajeros Boeing 747 Jumbo Jet (B747), el más grande y complejo que se haya construido, estaba en riesgo por el peligro de rentabilidad supuesto por la utilización del enfoque tradicional de mantenimiento preventivo, el cual demostraba ser bastante alto aún para aviones más pequeños en servicio. Por consiguiente un Grupo de Dirección de Mantenimiento (*Maintenance Steering Group, MSG*) se creó para gestionar el desarrollo de su plan de mantenimiento preventivo, el cual documentado en un informe conocido como *MSG-1*, dio lugar a un programa de mantenimiento preventivo asequible que garantizaba la operación segura y rentable de la aeronave.

Ante el rotundo éxito de *MSG-1*, la FAA solicitó que la lógica del nuevo enfoque fuera generalizada para su uso en otras aeronaves, así en 1970, se emitió el Documento Para La Programación Del Mantenimiento Planeado Para Fabricantes De Aeronaves *MSG-2*, en el cual se definía y normalizaba la lógica para el desarrollo de un programa de mantenimiento eficaz y económico, este fue utilizado por primera vez en el L1011, DC10 y MD80; luego en 1972, la Guía Europea Del Sistema De Mantenimiento (*European Maintenance System Guide, EMSG*) realizó mejoras al *MSG-2* en las estructuras y análisis zonal, y fue usada por primera vez en el Concorde y el A300 Airbus.

Los mismos problemas de control de costos y disponibilidad de aeronaves, exceptuando la rentabilidad, experimentados por las aerolíneas y la FAA, también los experimentaron los militares. Por consiguiente en 1978, el Departamento de Defensa (Department of Defense, DoD) contrata con Aerolíneas Unidas (United Airlines, UA) llevar a cabo un estudio sobre planes de mantenimiento eficientes, el cual complementó *MSG-2*, haciendo hincapié en la detección de fallas ocultas y se trasladó de un concepto orientado a los procesos a uno orientado a las funciones; el producto de este estudio fue el *MSG-3*, una lógica de decisiones llamada Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance, RCM)⁴.

Las cuatro características que definen y caracterizan este método y lo diferencian de otros procesos de planeación de mantenimiento, son:

⁴SCHOOMAKER, Peter J. Reliability-Centered Maintenance (RCM) for command, control, communications, computer, intelligence, surveillance, and reconnaissance (C4ISR) facilities. Washington, DC: Headquarters, Department of the army, 2006. p. 9-10.

- **Preservación de las funciones:** es la característica más importante del RCM. Partiendo de la identificación de las funciones es posible conocer el comportamiento deseado de la planta (funciones) y el mantener ese comportamiento es el principal objetivo. También permite priorizar entre los equipos sin asumir que todos tienen la misma importancia. Esta es la idea de mayor dificultad de aceptación, dado que contradice los conceptos del mantenimiento preventivo que establece que su objetivo es la preservación del estado de los equipos

- **Identificación de los modos de falla que resultan en fallas funcionales:** la pérdida de una de las funciones del sistema constituye una falla funcional. El cual se presenta en diversos estados y no solamente como una situación binaria, todas las fallas funcionales deben explorarse y considerarse dado la potencial importancia de uno o varios de ellos. Una vez hecho esto se continua con el análisis de los equipos, cuya operación adecuada produce las funciones del sistema, estos se deben identificar y examinar las posibles fallas en cada uno de ellos que resulten en la pérdida de una o varias funciones.

- **Priorización entre modos de falla:** dado que el sistema realiza varias funciones diferentes, sus fallas funcionales también los son, al igual que los equipos y sus modos de falla. Entre estos últimos es posible decidir la asignación de recursos y presupuesto, al ubicarlos en diferentes categorías relacionadas con los impactos de cada uno en la seguridad, el ambiente y la producción.

- **Selección de tareas de mantenimiento aplicables y efectivas:** conociendo dónde (equipos), qué (modos de falla) y con qué prioridad establecer las tareas de mantenimiento que preserven la función del sistema. A cada modo de falla se le asignan las tareas de mantenimiento que requiera. Cada una de ellas debe ser aplicable (es decir, que independientemente del costo puede prevenir o mitigar una falla, detectar su inicio o descubrir una oculta) y efectiva⁵.

Por otra parte, teniendo en cuenta la naturaleza de las siete preguntas básicas del proceso de RCM, en la práctica el personal de mantenimiento no puede resolver todas estas preguntas por sí mismos creando así la necesidad de trabajar junto con el personal operativo. Esto es especialmente cierto para las preguntas relacionadas con el funcionamiento deseado, los efectos y las consecuencias de las fallas.

Esta situación conduce a la creación de equipos de trabajo, que analicen los requerimientos de mantenimiento de cualquier equipo, que incluyan tanto personal de manteniendo como productivo, entrenados en RCM y con un amplio conocimiento de los sistemas que están interviniendo.

⁵ SMITH, Anthony y GLENN R. Hinchcliffe. RCM Gateway to world class maintenance. Burlington, USA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. p.63-66.

El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones⁶.

⁶MOUBRAY., Op cit. p.17.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 DIVISIÓN ESTRUCTURADA Y SELECCIÓN DEL SISTEMA

5.1.1Recolección de información. A través de la investigación y recolección de la información y los documentos necesarios para los pasos siguientes el tiempo y esfuerzo requerido para el proceso de análisis se reduce considerablemente; una lista de la información útil disponible es:

- **Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID por sus siglas en inglés)**
- **Diagrama esquemático o de bloques del sistema:** ayuda a mostrar el funcionamiento del sistema, suelen ser más sencillos que el P&ID, facilitan el buen entendimiento y las características operativas de los principales equipos del sistema
- **Manuales del fabricante:** contienen información importante sobre el diseño y operación de los equipos
- **Historial de los equipos:** presenta las fallas ocurridas y las acciones correctivas ejecutadas en la planta

Documentos de confiabilidad de otros sectores industriales, son otras fuentes de información bastante útiles.

5.1.2División estructurada. Considerando la magnitud y complejidad de la planta de esmaltados, el punto de partida es segmentar el proceso productivo en sistemas, ya que asumir toda la planta como una unidad implica tratar muchas funciones al mismo tiempo lo que dificulta considerablemente el proceso de análisis. Por otra parte analizar cada equipo requiere estudiar gran cantidad de modos de falla y priorizar entre ellos, según sus efectos, para la asignación de recursos limitados de mantenimiento no es fácil; además teniendo en cuenta que un equipo sirve de apoyo para varias operaciones la importancia de sus funciones y fallas funcionales es de difícil definición.

Por lo tanto es necesario establecer una división estructurada que facilite el análisis agrupando los equipos, con ayuda de P&ID y diagramas esquemáticos, en sistemas según las diferentes etapas del proceso de elaboración de papeles esmaltados.

5.1.3 Selección del sistema. Una vez decidido que el análisis se facilita a nivel de sistema, se debe tener en cuenta que explorarlos todos incrementa el costo del análisis, al tiempo que se considerarían algunos sin mayores efectos sobre la producción y otros sin información de utilidad, por lo tanto es necesario decidir por cuál sistema iniciar y con cuáles continuar.

El presente proyecto, como recurso de decisión, emplea la ley 80/20, la cual establece que el 80% de los efectos (interrupciones de producción o costos excesivos de mantenimiento) reside en el 20% de las causas (1 o 2 sistemas críticos). Para hacer uso de esta ley se reúne información de la contribución de las fallas en los sistemas a los costos de mantenimiento correctivo, el número de acciones reactivas y el tiempo perdido asociado a las paradas de emergencia; estos datos se usan para construir un diagrama de Pareto* con el cual es posible identificar el sistema que representa la mejor oportunidad de retorno de inversión.

Fuera de este proceso de análisis se encuentran los elementos que nos son receptivos a mantenimiento preventivo, como los instrumentos electrónicos digitales, para los cuales deberán especificarse los repuestos requeridos; otra omisión son los problemas relacionados a necesidades de modificaciones del diseño.

5.2 DEFINICIÓN DE LAS FRONTERAS

Previamente en la selección del sistema se usó una delimitación preliminar del mismo, la cual es el punto de partida para una definición más detallada de las fronteras del sistema; una lista completa de equipos puede ser fácilmente identificada si estas se conocen con exactitud, lo que a su vez evita que el sistema se traslape con otros adyacentes que posteriormente podrían ser analizados, incluso por un personal diferente, al tiempo que son un factor determinante en el reconocimiento de señales, flujo, calor, potencia, entre otros, que entran y salen del sistema.

Las decisiones tomadas en el proceso de análisis documentadas en el formato de la tabla 1, permiten la revisión del proceso de análisis por parte de la gerencia, indican los principales equipos incluidos y los puntos clave de las fronteras, asimismo advierten sobre las inclusiones o exclusiones a quienes usen los resultados posteriormente.

*Diagrama de barras organizadas en un orden descendente de valores

Tabla 1 Formato de definición de las fronteras

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Definición de las fronteras		Detalle de las fronteras	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados			
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			

<p>Principales equipos incluidos</p> <ul style="list-style-type: none"> • 		<p>Principales fronteras físicas</p>	
<p>Inicia en</p> <ul style="list-style-type: none"> • <p>Avisos:</p>		<p>Termina en</p> <ul style="list-style-type: none"> • 	

La especificación de las fronteras junto con la descripción del sistema y la definición de las funciones y fallas funcionales, son tareas iterativas en las cuales los factores antes ignorados se pueden ajustar nuevamente con el fin de garantizar los mejores resultados, antes de dar inicio al análisis de modos y efectos de falla potenciales.

5.3 CARACTERIZACIÓN Y MODELADO

La caracterización y modelado identifica detalles esenciales relacionados a la configuración y operación del sistema y los documenta técnica y detalladamente.

5.3.1 Descripción del sistema. Considerando que desde su entrada en operación, rediseños, modificaciones y actualizaciones han sido realizados en la totalidad de la planta y que se planean nuevas acciones de esta tipo, es necesario precisar el estado actual del sistema como indicación de dónde es necesario hacer revisiones a los planes de mantenimiento posteriormente. Además, esta definición asegura que se posee un completo conocimiento del sistema y a su vez ayuda en la identificación de los parámetros de desempeño y fabricación importantes para la posterior definición de las pérdidas, tanto parciales como totales, de las funciones del sistema.

En la tabla 2 se encuentra el formato que reúne información sobre las instalaciones funcionales, los atributos de reiteración, protección y control.

Tabla 2. Formato de descripción del sistema

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Descripción del sistema	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados			
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			

Instalaciones funcionales

-
- Atributos de reiteración**
-
- Atributos de protección**
-
- Atributos de control**
-

5.3.2 Interfaces de entrada y salida. Es un hecho que diversos elementos como señales, energía eléctrica, calor, flujo, entre otros, cruzan las fronteras del sistema, entrando o saliendo, mientras que otros interactúan activamente dentro de él. Estos elementos conocidos como interfaces de entrada y salida se documentan en el formato de la tabla 3.

La importancia de la identificación de las interfaces de salida radica en que estas representan qué se espera del sistema, es decir, dan el esquema inicial para definir su función; por otra parte las interfaces de entrada se asumen siempre presentes y disponibles, considerando que estas representan la salida de otro sistema, de ser necesario su análisis este debe ejecutarse posteriormente.

Tabla 3. Formato de interfaces de entrada y salida

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Interfaces de entrada y salida	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados			
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			

Tipo	Sistema fronterizo	Localización de la interface

5.3.3 Diagrama funcional de bloques. El diagrama funcional de bloques agrupa las principales operaciones que ejerce el sistema (instalaciones funcionales), y esquemáticamente muestra su relación mediante flechas, junto con las interfaces de entrada y salida. Esta representación es una descripción inicial de la estructura funcional del sistema y su comportamiento deseado. Su documentación se realiza en el formato de la tabla 4.

Tabla 4. Formato del diagrama funcional de bloques

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Diagrama funcional de bloques	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados			
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			
Diagrama funcional de bloques			

5.3.4 Listado de equipos. Con ayuda de P&ID, manuales de diseño y reconocimiento de planta, en el listado de quipos se incluyen todos los presentes dentro de las fronteras del sistema.

El formato de la tabla 5 describe la compilación de equipos de los grupos funcionales previamente identificados, de esta manera se pretende eliminar la posibilidad de omitir equipos en futuras consideraciones de mantenimiento preventivo.

Tabla 5. Formato de listado de equipos

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Listado de equipos	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados			
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			
Ubicación	Equipo	Descripción	Cantidad

5.3.5 Historial de fallas. El historial de uso previo y la experiencia operacional de los equipos listados anteriormente son una fuente importante de información de las fallas que estos han experimentado en los últimos 5 años, a excepción de aquellos adquiridos recientemente.

Esta información reside principalmente en dos fuentes, por una parte el software de gestión del mantenimiento aporta indicaciones sobre el número, la fecha, la descripción de los mantenimientos correctivos realizadas, entre otros; y por otra las órdenes de trabajo dan especial información sobre los modos y las posibles causas de falla, las acciones tomadas para corregirlas y los hallazgos durante la ejecución de la tarea. Una tercera fuente son los archivos genéricos de fallas, compilados de la industria en general que constituyen una base de datos útil y aplicable a los equipos bajo análisis, aunque estos pueden no ser los mismos ni actúen en el mismo contexto operacional esta, ayuda a considerar los modos de falla potenciales. Los resultados de esta indagación se consignan en el formato de la tabla 6.

Tabla 6. Formato de historial de fallas

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Historial de fallas	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados			
Analista		Fecha	
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			

Equipo		
Modo de falla	Causa de falla	Efecto de falla

5.4 FUNCIONES DEL SISTEMA Y FALLAS FUNCIONALES

En la caracterización y modelado se recopiló y desarrolló información de manera formal con el propósito de facilitar el proceso de análisis y cumplir con las cuatro características básicas del RCM.

Considerando que las funciones definidas van a ser tenidas en cuenta en las etapas de análisis restantes, que culminan en la selección de las tareas de mantenimiento que las preservan, una correcta y completa formulación de estas funciones es de suma importancia, dado que olvidar una implica que probablemente no va a haber ninguna tarea de mantenimiento que prevenga su alteración.

Las interfaces de salida del sistema, previamente identificadas, representan lo que se espera de él, por lo tanto estas salidas son las nociones elementales para la formulación de las funciones. Las interfaces más visibles pueden ser fácilmente formuladas como funciones activas, mientras que existen otras menos evidentes, que deben ser reconocidas e incluidas, y representan las funciones pasivas.

Por otra parte las fallas funcionales, que son la pérdida de la función del sistema y no la falla de los equipos, se presentan en tres estados diferentes: pérdida total, pérdida parcial u operación fuera de los límites establecidos. Una completa identificación de estas situaciones permite categorizar entre ellos dado que no todos tienen la misma importancia, según su impacto en la producción, al tiempo que permite percibir la manera en que los equipos responsables de las funciones pueden fallar. Las definiciones tanto de las funciones como de las fallas funcionales se registran en el formato de la tabla 7.

Tabla 7. Formato de funciones y fallas funcionales

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad Funciones del sistema y fallas funcionales		Información Formulación de las funciones del sistema y las fallas funcionales	
Planta Esmaltados	Sistema		Subsistema
Analista Alfredo Emir Gordillo Betancourt			Fecha

Función	Falla funcional	Descripción función/falla funcional

5.5 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y JERARQUÍA DE FALLAS POTENCIALES

El análisis inicia con la identificación de los equipos, que una vez deteriorados, tienen la posibilidad de ocasionar la pérdida de la función del sistema; esta relación se expone en el formato de la Tabla 8, en la cual los elementos verticales y horizontales son el listado de equipos y las fallas funcionales, identificados con anterioridad, respectivamente.

Una respuesta afirmativa a la pregunta “¿Podría alguna avería (cualquiera) en este equipo resultar en una falla funcional?” indica el potencial de un equipo de provocar una pérdida de la función del sistema y esto se indica con una X en las intersecciones adecuadas.

Tabla 8. Formato de relación Equipo/Falla funcional

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Análisis de modos y efectos de fallas potenciales		Relación equipo/falla funcional	
Planta	Sistema		Subsistema
Esmaltados			
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			

	Falla funcional									
Equipo										

Una vez completo el formato anterior, es posible decidir el camino por el cual continuar el análisis, ya que de este se deduce la falla funcional con la mayor probabilidad de ocurrir, dada por la mayor cantidad de X, y analizar posteriormente cada intersección individualmente con el formato de la Tabla 9.

Tabla 9 Análisis de modos y efectos de falla

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad Análisis de modos y efectos de fallas potenciales		Información Relación equipo/falla funcional	
Planta Esmaltados	Sistema Mesa de desbobinado	Subsistema Empalme	
Analista Alfredo Emir Gordillo Betancourt			Fecha

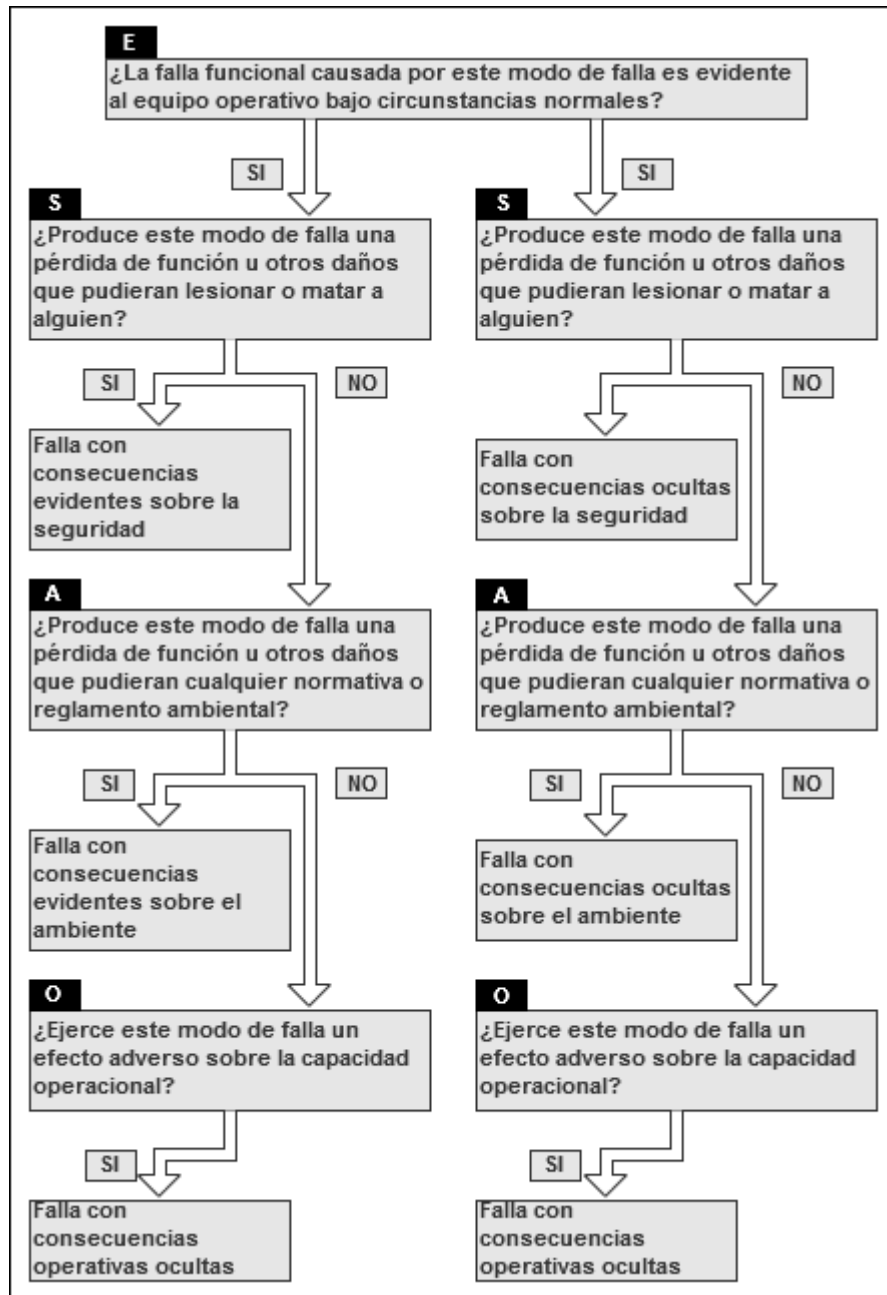
Falla funcional	Equipo	Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O

En esta tabla, la primera columna señala que la información contenida en las restantes, es específica para cada falla funcional. En la siguiente se registran únicamente los equipos identificados con una X en las intersecciones de la tabla 8. Después, en la tercera, se identifican las averías en los equipos con el potencial de causar una falla funcional, en esta columna aparecen únicamente los modos de falla dominantes, es decir, que los problemas ocasionados por éstos pueden ser solucionados con una tarea de mantenimiento (se omiten del análisis, por ejemplo, errores humanos o fallas en microchips) y que además, no describan situaciones improbables (colapso de la estructura causado por un terremoto); la omisión de un modo de falla implica la inexistencia de una acción que le prevenga. Luego, con el fin de visualizar la relación potencial entre las funciones del sistema y cada modo de falla, se determinan las consecuencias de estos en la cuarta columna. A continuación, en la siguiente, se registran las decisiones, con un SI o NO, de proseguir analizando cada modo de falla, en caso que ya lo hayan sido, previamente.

Considerando que todas las funciones, fallas funcionales y, por tanto, los modos de falla son diferentes, entre aquellos con una respuesta afirmativa en la quinta columna de la tabla 9, se prioriza el énfasis y los recursos dedicados a cada uno de ellos, a través del árbol de clasificación de fallas de la figura 1, que a través de cuatro preguntas ubica los efectos de falla dentro de cuatro categorías: problemas evidentes (E), de seguridad (S), ambientales (A) u operativos (O).

Después de estudiar cada equipo de la falla funcional bajo análisis, comparar sus modos de falla con los de otras fallas funcionales permite saber si estos también aplican parcial o totalmente, esta comprobación elimina la necesidad de repetir el análisis y se indica en el formato de la tabla 8 sustituyendo una X por el número de la falla funcional.

Figura 1. Árbol de clasificación de fallas



5.6 SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Posteriormente, en la cuarta columna de la tabla 10, se reseñan todos los factores directamente responsables de cada modo de falla, y no los causados por el deterioro de otros equipos; el historial de fallas y la experiencia de operadores y personal de mantenimiento son una fuente importante de información para determinar las causas de falla, y para cada una de ellas se propone una tarea de mantenimiento que evite su aparición

Figura 2. Árbol de selección de tareas de mantenimiento

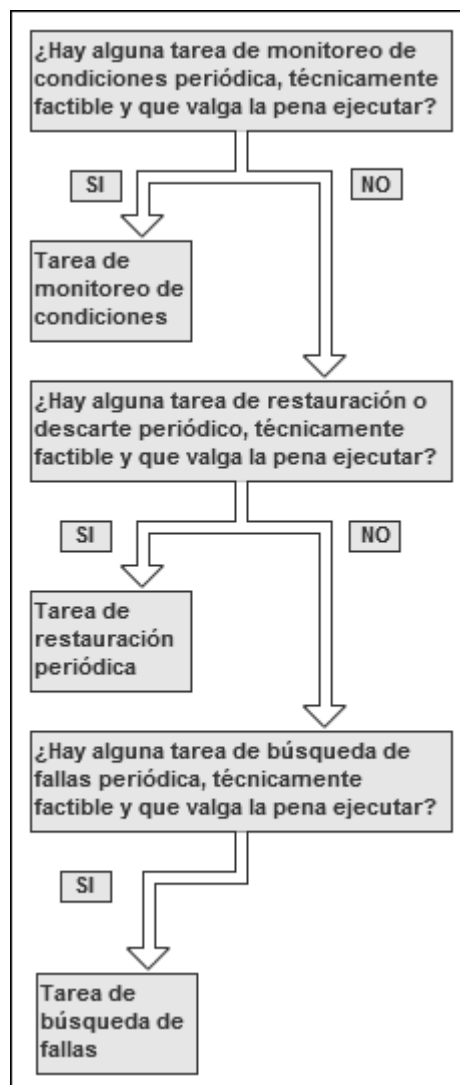


Tabla 10. Formato de selección de tareas de mantenimiento

PROCESO DE ANÁLISIS RCM							
Actividad				Información			
Selección de las tareas de mantenimiento				Tareas de mantenimiento			
Planta		Sistema		Subsistema			
Esmaltados							
Analista				Fecha			
Alfredo Emir Gordillo Betancourt							

Falla funcional	Equipo	Modo de falla	Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 DIVISIÓN ESTRUCTURADA Y SELECCIÓN DEL SISTEMA

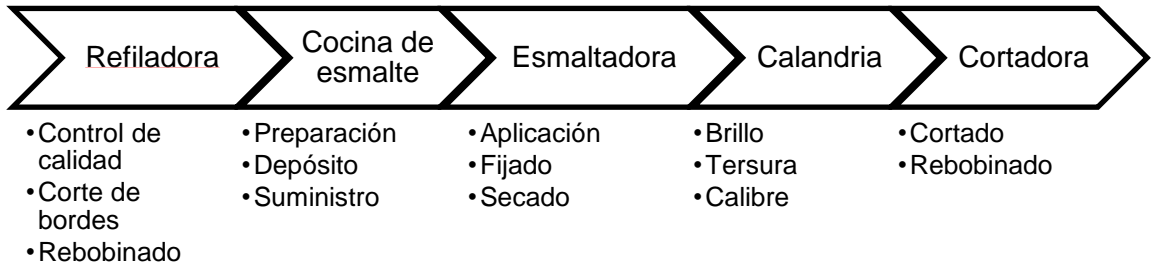
6.1.1 Colección de información

6.1.1.1 División estructurada. El proceso productivo de papeles esmaltados se realiza en cinco grandes máquinas:

- **Refiladora:** permite la realización del control de calidad del papel proveniente de las máquinas papeleras 1 y 3, una vez este ha terminado la máquina corta los bordes y lo rebobina en un nuevo carrete.
- **Cocina de esmalte:** prepara y almacena el esmalte, y los productos necesarios para su elaboración, para su posterior suministro a la máquina esmaltadora.
- **Esmaltadora:** aplica, fija y seca el esmalte, por una o ambas caras, al papel proveniente de la máquina refiladora.
- **Calandria:** mejora el acabado superficial del papel esmaltado, si es necesario, realzando su brillo, tersura y calibre.
- **Cortadora:** corta y rebobina el papel esmaltado, en rollos de cartón, según los diferentes anchos y diámetros requeridos por el cliente.

En la Figura 3 se resume esquemáticamente este proceso, en el cual la máquina esmaltadora sobresale en importancia dentro del mismo, mientras que las restantes realizan funciones de apoyo para ella, por lo tanto analizar este grupo de máquinas representa un gran consumo de tiempo y dinero (considerando su magnitud y complejidad) sin un mayor retorno de inversión.

Figura 3. Resumen esquemático del proceso productivo

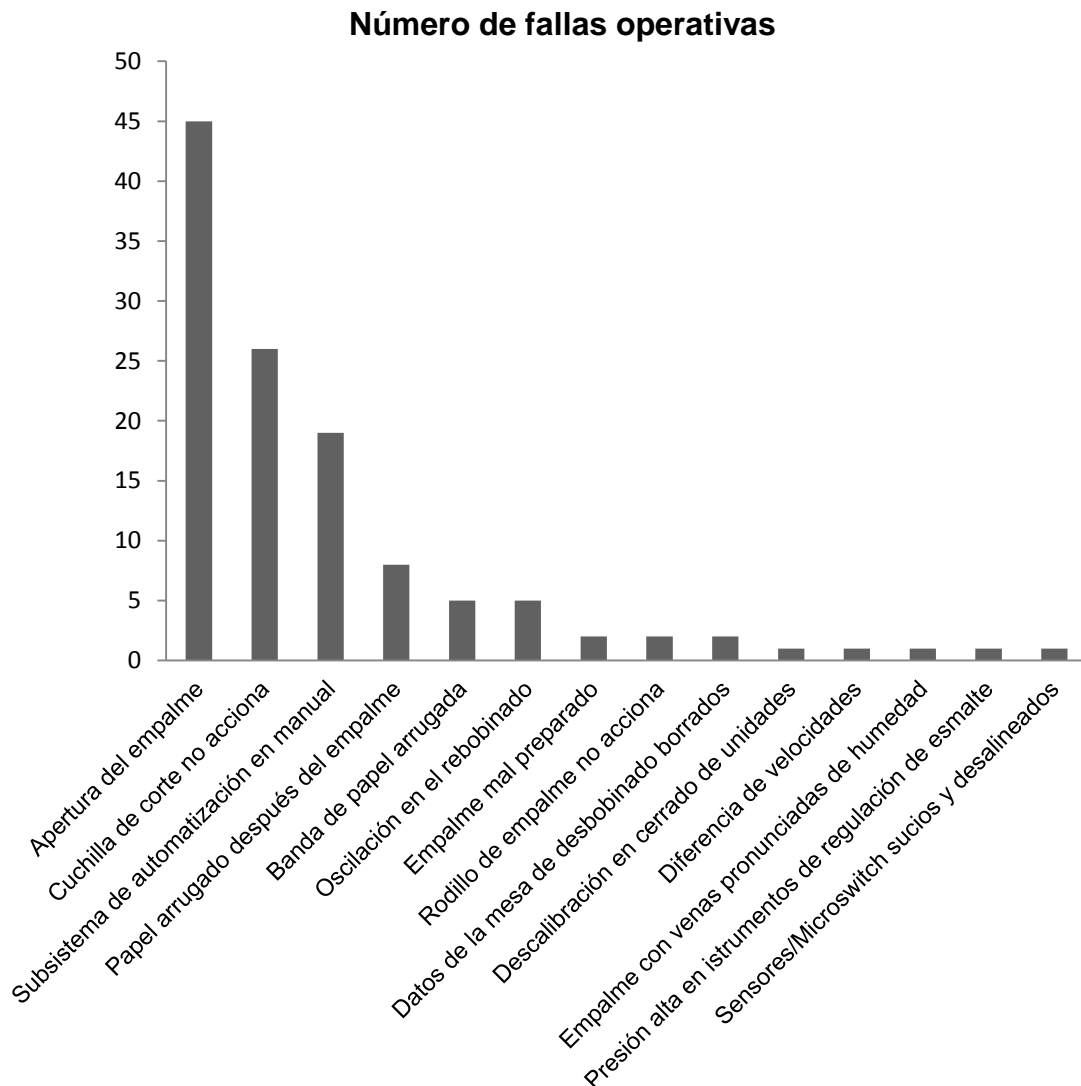


Por este motivo el presente proyecto centra su atención en la máquina esmaltadora, la cual fue instalada y puesta en operación en el año 2000, tiene una longitud de 80 metros y trabaja en tres módulos: el primero se encarga del suministro continuo del papel mediante el desbobinado de los carretes que lo contienen, el segundo realiza la acción de esmalto y el tercero mejora levemente el acabado superficial y lo rebobina en un nuevo carrete. En estos tres módulos se identificaron 17 sistemas que se resumen en la siguiente lista.

- Tren carga bobinas
- Mesa de desbobinado
- Tren carga carretes vacíos
- Instrumentos de regulación de esmalte
- Unidades de aplicación de esmalte
- Infrarrojos de secado
- Ventiladores de aire caliente
- Calandria en línea
- Mesa de rebobinado

6.1.2 Selección del sistema. Con historial de tiempos perdidos por fallas operativas (eventos) para el período entre el 31 de Diciembre de 2009 y el 16 de Mayo de 2011 se construyó el diagrama de Pareto de la figura 4.

Figura 4. Diagrama de Pareto de fallas operativas



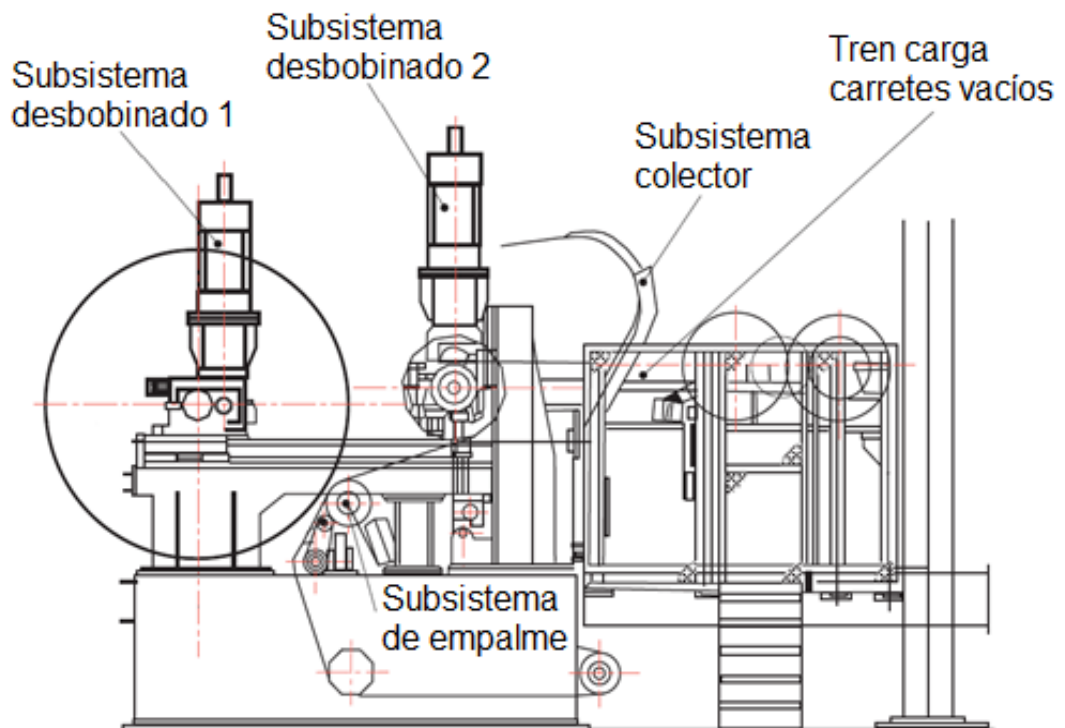
Fuente: informe de tiempos perdidos en la planta de esmaltados de Carvajal Pulpa y Papel. Yumbo, 2011. 1 Archivo de computador

Del anterior diagrama se dedujo que cerca del 60% de los diferentes eventos suceden en la Mesa de Desbobinado, un diagrama esquemático de este sistema puede verse en la figura 5, el cual está compuesta por motores, acoplamientos, husillo, rodillos, actuadores neumáticos, válvulas, cojinetes, brazos de carga, entre otros y es responsable de un gran número de tareas. Considerando esta magnitud se utilizó la subdivisión del manual del fabricante, de los siguientes subsistemas más pequeños y manejables.

- Subsistema de desbobinado 1

- Subsistema de desbobinado 2
- Subsistema de empalme
- Subsistema colector
- Subsistema de discos de mando
- Subsistema de automatización

Figura 5. Diagrama esquemático de la mesa de desbobinado



Fuente: BARBOSA, Carlos. Manual MFO-50,2 Sub Fase de alimentación y desbobinado de Carvajal Pulpa y Papel. Yumbo: Propal S.A.,: 2010 p.67.

Considerando que los dos eventos de mayor incidencia, junto con otros 3 más se presentan en el subsistema de empalme, este se identificó como el subsistema crítico y por lo tanto objetivo del proceso de análisis de RCM ya que representa la mejor oportunidad de retorno de inversión.

6.2 DEFINICIÓN DE LAS FRONTERAS

Manuales de diseño del fabricante, diagramas esquemáticos, inventario de dispositivos y circuitos neumáticos fueron usados en la definición de las fronteras, considerando las tareas desempeñadas por los equipos dentro del sistema y no su ubicación. El resultado de esta actividad puede verse en la tabla 11.

Tabla 11. Definición de las fronteras

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Definición de las fronteras		Detalle de las fronteras	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados	Mesa de desbobinado	Empalme	
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			2/03/2012

Principales equipos incluidos <ul style="list-style-type: none"> • Motores • Reductores • Cardanes • Engranajes cónicos • Husillos • Rollos de apoyo 		<ul style="list-style-type: none"> • Actuadores y válvulas neumáticas • Mecanismos de palancas • Correas de transmisión • Rodillo de empalme • Cuchilla de corte • Interruptores de aproximación
Principales fronteras físicas		
Inicia en: <ul style="list-style-type: none"> • Energía eléctrica al motor • Aire entrando a las válvulas 	Termina en: <ul style="list-style-type: none"> • Banda de papel por terminar adherida a la bobina entrante • Banda de papel cortada • Aire saliendo de los pistones 	
Avisos: no se incluyen los elementos estructurales		

6.3 CARACTERIZACIÓN Y MODELADO

6.3.1 Descripción del sistema. El subsistema de empalme une la bobina entrante (cuyo perfil de empalme ha sido preparado previamente en el tren carga bobinas con cinta doble faz) a la banda de papel que se está entregando a las unidades de aplicación de esmalte, cuando la bobina que contiene a esta última ha alcanzado su diámetro mínimo (diámetro de entrega), la operación finaliza con el corte de la banda después del empalme; esta procedimiento se hace con el fin de dar continuidad a la producción. Una descripción funcional y el listado de los atributos de este subsistema se encuentran consignados en la tabla 12.

Tabla 12. Descripción del subsistema de empalme

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Descripción del sistema	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados	Mesa de desbobinado	Empalme	
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			15/03/2012

Estructura funcional

- **Instalación de aproximación:** conjunto de equipos mecánicos que ascienden o descienden el subsistema con el fin de empalmar bobinas pequeñas o permitir diámetros grandes de entrega
- **Instalación de soporte:** los rollos de apoyo soportan el rodillo de empalme para lograr una adhesión homogénea de la banda de papel por terminar a la bobina entrante. Estos rollos están fijados en un travesaño y es posible arrimarlos neumáticamente por medio de un sistema de palancas
- **Instalación de empalme:** el rodillo de empalme tiene un revestimiento de goma y está alojado en un mecanismo de palancas. Este último está ensamblado en forma desplazable mediante un caballete en un travesaño. Durante el proceso de empalme el rodillo de empalme se arrima neumáticamente mediante actuadores neumáticos
- **Instalación de corte:** la cuchilla de corte está ensamblada sobre un travesaño y se acciona mediante unos actuadores neumáticos durante el proceso de empalme

Atributos de reiteración

- Los interruptores de aproximación y barreras de luz se ubican a ambos lados de la mesa de desbobinado

Atributos de protección

- Todos los elementos tanto eléctricos como electrónicos están protegidos de cambios en el voltaje
- Las válvulas reguladoras de presión protegen todos los elementos neumáticos
- La presencia de personal cuya vida pudiese estar en riesgo mientras la máquina está en operación es protegida mediante puertas de seguridad

Atributos de control

- Los diámetros de las bobinas, las velocidades de giro y la posición del perfil de empalme son controlados mediante células fotoeléctricas
- Las posiciones de todos los elementos móviles son verificadas con interruptores de aproximación y barreras de luz

Para una descripción completa de la operación de la mesa de desbobinado véase el Anexo A

6.3.2 Interfaces de entrada y salida. En el presente proyecto se asume que las interfaces de entrada siempre están presentes y disponibles mientras que las de salida serán usadas posteriormente en la identificación y preservación de las funciones del subsistema de empalme mediante la selección de las

tareas de mantenimiento; el listado de estas interfaces puede verse en la tabla 13.

Tabla 13. Interfaces de entrada y salida

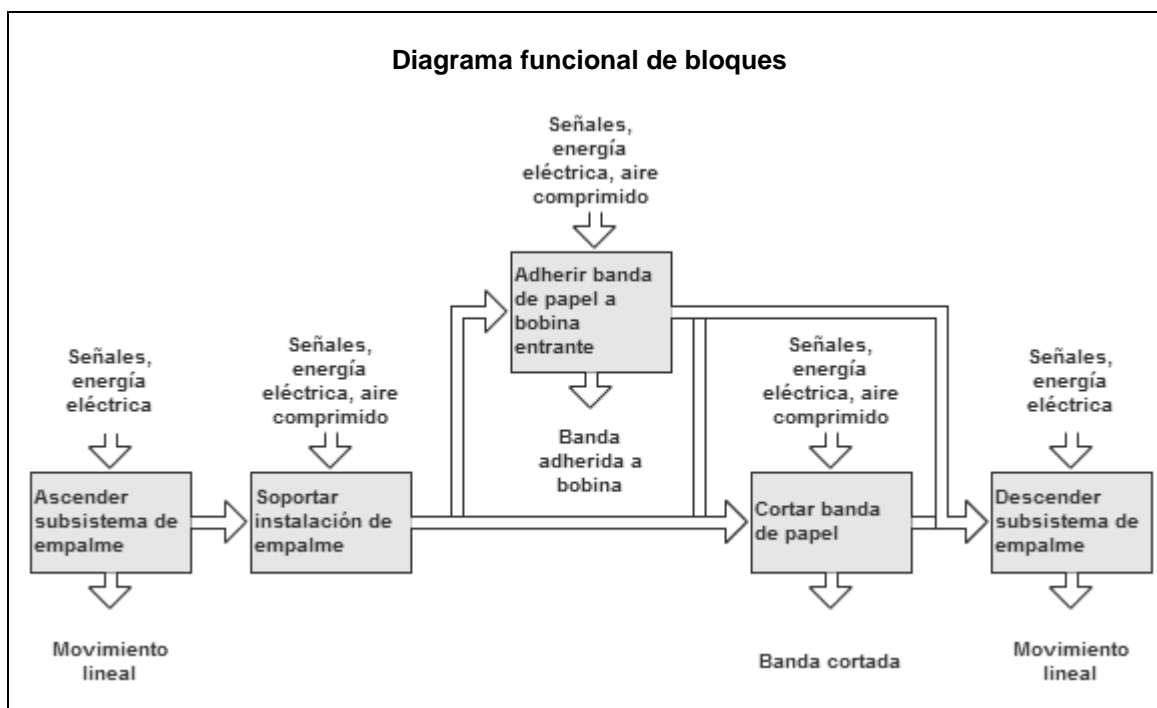
PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Interfaces de entrada y salida	
Planta	Esmaltados	Sistema	Subsistema
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			27/03/2012

Tipo	Sistema fronterizo	Localización de la interface
ENTRADA (Energía eléctrica)	Instalaciones de aproximación, apoyo, empalme y corte 24 V	Conexión a células fotoeléctricas e interruptores de proximidad
ENTRADA (Energía eléctrica)	Instalación aproximación 220 V	Conexión a motor de ascenso y descenso
SALIDA (Movimiento lineal)	Instalación aproximación	Guías lineales de la instalación de aproximación
ENTRADA (Aire comprimido)	Instalación de apoyo 6 bar	Entrada de las válvulas
ENTRADA (Energía eléctrica)	Instalación de empalme 220 V	Conexión a motor de velocidad variable
ENTRADA (Aire comprimido)	Instalación de empalme 6 bar	Entrada de las válvulas
ENTRADA (Bobina de papel)	Subsistema de desbobinado 1 Diámetro entre 1,6 y 2,4 m	Entre el rodillo de empalme y el subsistema de desbobinado 1
ENTRADA (Banda de papel)	Subsistema de desbobinado 2 Densidad superficial entre 50 y 280 g/m ²	Entre el rodillo de empalme y el subsistema de desbobinado 2
SALIDA (Banda adherida a bobina)	Instalación de empalme	Entre el rodillo empalme y la bobina en el subsistema de desbobinado 1
ENTRADA (Aire comprimido)	Instalación de corte 6 bar	Entrada de las válvulas
SALIDA (Banda de papel cortada)	Instalación de corte Densidad superficial entre 50 y 280 g/m ²	Entre la cuchilla de corte y la banda de papel del subsistema de desbobinado 2

6.3.3 Diagrama funcional de bloques. El diagrama funcional de bloques de la tabla 14 integra la estructura funcional de la descripción del sistema y las interfaces de entrada y salida, completando así la representación inicial del subsistema de empalme.

Tabla 14. Diagrama funcional de bloques

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Diagrama funcional de bloques	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados	Mesa de desbobinado	Empalme	
Analista			Fecha
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			06/04/2012



6.3.4 Listado de equipos. En la tabla 15 se encuentran compilados los equipos específicamente relacionados a cada uno de los cuatro grupos funcionales del subsistema de empalme. Para una mayor información de cada uno de ellos véase en el anexo B los detalles dados por los fabricantes.

Tabla 15. Listado de equipos

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad		Información	
Caracterización y modelado		Listado de equipos	
Planta	Sistema	Subsistema	
Esmaltados	Mesa de desbobinado	Empalme	
Analista		Fecha	
Alfredo Emir Gordillo Betancourt		16/04/2012	

Ubicación	Equipo	Descripción	Cant.
1.0 Instalación de aproximación	1.1 Motor de ascenso y descenso	Pone en marcha la instalación de aproximación	1
	1.2 Reductor	Reduce la velocidad y aumenta la fuerza entregada por el motor	1
	1.3 Cardán	Transmite el movimiento del reductor al engranaje cónico	2
	1.4 Engranaje cónico 90°	Transmite el movimiento del engranaje cónico a los husillos	2
	1.5 Husillo	Ascienden o descienden el instalación de empalme	2
	1.6 Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de descanso"	Determina si el instalación de empalme está en posición de descanso	2
	1.7 Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de empalme"	Determina si el instalación de empalme está en posición de empalme	2
	1.8 Interruptor de aproximación "Presencia de bobina sobre el Subsistema de desbobinado 1"	Determina la presencia de bobina para empalmar	2
	1.9 Interruptor de aproximación "Sincronización de los husillos"	Verifica la actuación sincrónica de los husillos	2
	1.10 Célula fotoeléctrica "Diámetro de la bobina sobre el Subsistema de desbobinado 1"	Determina el diámetro de la bobina en el Subsistema de desbobinado 1	2
2.0 Instalación de apoyo	2.1 Válvula reguladora de presión	Regula la presión a la entrada de todo el circuito	1
	2.2 Válvula magnética 3/2 vías	Controla el accionamiento de los cilindros que mueven los rollos de apoyo	2
	2.3 Válvula estranguladora de retención	Controla el flujo de aire a los cilindros y evitan un contraflujo	2
	2.4 Actuador	Impulsan los rollos de apoyo hacia el rodillo empalmador	4
	2.5 Válvula de descarga rápida	Aumentan la velocidad de actuación del cilindro neumático	4

Tabla 15. Continuación

Ubicación			Equipo	Descripción	Cant.
2.0	Instalación de apoyo	2.6	Mecanismo de palancas	Transmiten el movimiento de los cilindros a los rollos de apoyo	4
		2.7	Rollo de apoyo	Soportan el rodillo empalmador	4
		2.8	Interruptor de aproximación "Rollo de apoyo en posición de empalme"	Determina si la instalación de apoyo está en posición de empalme	4
		2.9	Interruptor de aproximación "Rollo de apoyo en posición de descanso"	Determina si la instalación de apoyo está en posición de descanso	2
3.0	Instalación de empalme	3.1	Válvula reguladora de presión	Regula la presión a la entrada de todo el circuito	1
		3.2	Válvula magnética 3/2 vías	Controla el accionamiento de los cilindros que mueven el rodillo de empalme	1
		3.3	Válvula estranguladora de retención	Controla el flujo de aire a los cilindros y evitan un contraflujo	2
		3.4	Actuador	Impulsan el rodillo de empalme hacia la bobina de papel	2
		3.5	Válvula de descarga rápida	Aumentan la velocidad de actuación del cilindro neumático	2
		3.6	Mecanismo de palancas	Transmiten el movimiento de los cilindros al rodillo de empalme	2
		3.7	Motor de velocidad variable	Hace girar el rodillo de empalme a la velocidad de trabajo	2
		3.8	Cardán motor de velocidad variable	Transmite el movimiento del motor a la correa de transmisión	1
		3.9	Correa de transmisión	Transmite el movimiento del cardán del motor de velocidad variable al rodillo de empalme	1
		3.10	Rodillo empalmador	Acerca banda de papel por terminar a la bobina entrante	4
		3.11	Rodillo guía	Direcciona el papel fuera del subsistema de empalme	1
		3.12	Palanca giratoria	Censa vibraciones y alineación del rodillo de empalme cuando éste actúa	1
		3.13	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de empalme"	Determina si la instalación de empalme está en posición de empalme	2
		3.14	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de descanso"	Determina si la instalación de empalme está en posición de descanso	2

Tabla 15. Continuación

Ubicación			Equipo	Descripción	Cant.
3.0	Instalación de empalme	3.15	Barrera de luz "Bobina delante de rodillo de empalme"	Determina la posición de la bobina a empalmar	2
		3.16	Célula fotoeléctrica "detección del punto de empalme"	Encuentra el punto de empalme y determina la velocidad de trabajo	2
		3.17	Célula fotoeléctrica "diámetro de la bobina sobre el Subsistema de desbobinado 2"	Determina el diámetro de la bobina en el subsistema de desbobinado 2	1
4.0	Instalación de corte	4.1	Válvula reguladora de presión	Regula la presión a la entrada de todo el circuito	1
		4.2	Válvula magnética 3/2 vías	Controla el accionamiento de los cilindros que mueven la cuchilla de corte	1
		4.3	Válvula estranguladora de retención	Controla el flujo de aire a los cilindros y evitan un contraflujo	2
		4.4	Actuador	Impulsan la cuchilla de corte hacia la banda de papel	2
		4.5	Válvula de descarga rápida	Aumentan la velocidad de actuación del cilindro neumático	2
		4.6	Mecanismo de palancas	Transmiten el movimiento de los cilindros a la cuchilla de corte	2
		4.7	Cuchilla de corte	Corta la banda de papel por terminar	2
		4.8	Interruptor aproximación "cuchilla en posición de corte"	Determina si la cuchilla está en la posición inferior	1
		4.9	Interruptor aproximación "cuchilla en posición de descanso"	Determina si la cuchilla está en la posición superior	1

6.3.5 Historial de fallas. Durante la revisión de las órdenes de mantenimiento correctivo y avisos de avería expedidos por el software de gestión de mantenimiento, se hallaron deficiencias e incongruencias en la información registrada. Entre los equívocos más comunes se encuentran los errores de reseño de los incidentes, donde no se detalla la naturaleza o causa de las deterioros en los equipos ni la tareas ejecutadas para reducirlas o restaurarlas, además estas se dirigen a las máquinas u otras ubicaciones, por lo tanto no es posible hacerles el seguimiento adecuado.

Estos errores ponen en duda si las fallas se entendieron totalmente y si realmente fueron corregidas como era debido. Ante esta situación se hizo uso de las especificaciones expuestas en el *Handbook of*

ReliabilityPredictionsProceduresforMechanicalEquipment de la *Naval SurfaceWarfare Center CaderockDivision*. Esta información se tradujo, resumió y contextualizó a los equipos presentes en la planta y las fallas de las que se tiene conocimiento; los datos recolectados para el proceso de análisis se encuentran en la tabla 16.

Tabla 16. Historial de fallas

PROCESO DE ANÁLISIS RCM				
Actividad			Información	
Caracterización y modelado			Historial de fallas	
Planta	Sistema	Subsistema		
Esmaltados	Mesa de desbobinado	Empalme		
Analista			Fecha	
Alfredo Emir Gordillo Betancourt			27/04/2012	

Husillo				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Rodamiento bloqueado al husillo	1.1	Pérdida de lubricación	La carga no puede ser movida
2	Eje del husillo estriado	2.1	Desalineamiento	Falla eventual del husillo
3	Desgaste de las roscas (filetes) del husillo	3.1	Contaminantes externos	Operación inestable

Célula fotoeléctrica, interruptor de aproximación, barrera de luz				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Señal incorrecta del sensor	1.1	Nivel de señal reducido	Potencial error de procesamiento
		1.2	Desfase en la impedancia	
2	Pérdida de señal del sensor	2.1	Falla del chip	Pérdida de señal al procesador
		2.2	Sensor corroído	
3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	3.1	Cable roto	Pérdida de señal al procesador
4	Error de señal en la línea de transmisión	4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Potencial error de procesamiento

Actuadores				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Fuga interna	1.1	Contaminantes traspasaron el sello del vástago	Pérdida/reducción en la fuerza de salida
2	Fuga externa	2.1	Fuga del sello	Pérdida/reducción en la fuerza de salida
		2.2	Desgaste del pistón, cilindro	
3	Aeración	3.1	Aire aspirado atraviesa el sello del vástago durante actuación	Actuador dañado y pérdida de los sellos

Tabla 16. Continuación

Válvula reguladora de presión, estranguladora de retención y descargue rápido				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Fuga interna	1.1	Contaminantes	Cabezal/asiento desgastado
2	Respuesta pobre	2.1	Presión de resorte incorrecta	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal
		2.2	Contaminantes	
3	Fuga externa	3.1	Contaminantes	Desgaste del vástago del cabezal
Válvula magnética				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Fuga interna	1.1	Contaminantes	Cabezal o asiento desgastado
		1.2	Carga transversal	
2	Respuesta pobre	2.1	Carga transversal	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal
		2.2	Presión de resorte incorrecta	
		2.3	Contaminantes	
3	Fuga externa	3.1	Contaminantes	Sello/empaquetadura desgastado
4	Puerto de la válvula falla al abrir	4.1	Carga transversal excesiva	Obstrucción del ensamblaje de la válvula
		4.2	Contaminantes	
Mecanismo de palancas				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Revestimiento dañado	1.1	Corrosión	Eventual falla del mecanismo
2	Bisagra ruidosa	2.1	Contaminantes	Eventual falla del mecanismo
		2.2	Pérdida de lubricación	
3	Pasador flojo	3.1	Agujeros ensanchados	Pieza suelta en el eje
4	Pasador dañado	4.1	Impacto	Desalineamiento de partes
		4.2	Vibración	
Motor eléctrico				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Devanado abierto	1.1	Ruptura del aislamiento	Motor no arranca
	Devanado en cortocircuito	1.2	Acumulación de suciedad en los ventiladores de refrigeración	Falla del motor
		1.3	Vibración	Chispeo en las escobillas
2	Rodamiento desgastado: Astillamiento deslizamiento o patinamiento	2.1	Problema de lubricación	Ruido Acumulación de calor Roce de la armadura con el estator Motor aferrado

Tabla 16. Continuación

Motor eléctrico				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
3	Alojamiento agrietado	3.1	Fatiga	Fuga de polvo dentro del motor Cortocircuito Motor aferrado Chispeo excesivo Ruido de traqueteo o silbido Motor corre muy rápido o muy lento bajo carga Motor no arranca
		3.2	Vibración	
4	Escobillas desgastadas Escobillas fallan al abrir	4.1	Contaminación	Corta vida del motor Falla del motor
		4.2	Presión de contacto inadecuada	
5	Sobrecalentamiento del motor	5.1	Ventilación rota	Operación ruidosa Falla del motor
6	Falla de rodamientos	6.1	Desalineamiento del eje	
		6.2	Rodamientos desgastados	
Rollo de apoyo, rodillo de empalme				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Rollo flectado	1.1	Esfuerzo flectante	Fallo de un componente montado al eje Fatiga del eje y ruptura Fallo de un componente montado al eje
2	Rotación inestable	2.1	Vibración	
3	Rotación desigual	3.1	Montura del ensamblaje floja	
Reductor, engranaje cónico				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Picaduras	1.1	Esfuerzo de Contacto cíclico transmitido a través de la película lubricante	Daño superficial del diente
2	Diente cizallado	2.1	Fractura	Falla del diente Desgaste y falla eventual del diente Daño superficial resultante en vibración, ruido y eventual falla
3	Arrastre	2.1	Avería del lubricante	
4	Deformación plástica	4.1	Carga y fluencia superficial	Deterioro de la superficie de acoplamiento, soldadura, rozamiento, falla eventual del diente. Falla del diente
5	Astillamiento	5.1	Fatiga	
6	Diente fatigado por flexión	6.1	Fatiga en la superficie de contacto	

Tabla 16. Continuación

Correa				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Tensión de operación inadecuada	1.1	Error de instalación	Falla de la correa
2	Desalineamiento de la polea/garganta	2.1	Error de instalación	Agrietamiento lateral y falla de la correa
4	Correa y polea/garganta desgastadas	4.1	Fuerzas en el arranque o parada 10% mayores que las condiciones operativas	Falla prematura de la correa
5	Tasa normal de desgaste	5.1	Esfuerzos normales repetitivos	Eventual falla de la correa
6	Operación de la correa inadecuada	6.1	Polea/garrucha floja sobre el eje	Agrietamiento lateral y falla de la correa

Cardán				
Modo de falla		Causa de falla		Efecto de falla
1	Eje pasador o diente cizallado	1.1	Sobrecarga de impacto torsional	Pérdida total de la transmisión
2	Eje pasador o discos fatigados	2.1	Vibración torsional	Pérdida total de la transmisión
3	Rodamientos del eje fatigados	2.1	Falla del lubricante	Equipo adyacente bloqueado, posible daño del motor
4	Ejes pasadores flojos sobre el eje	4.1	Sobrecarga de impacto torsional	Vibración excesiva en equipos adyacentes

6.4 FUNCIONES DEL SISTEMA Y FALLAS FUNCIONALES

En la tabla 17 se encuentran los resultados de la definición de las funciones teniendo en cuenta el proceso operativo y las interfaces de salida. En la primera y segunda columna se encuentran numeradas las funciones y fallas funcionales respectivamente mientras que en la tercera se hallan las descripciones de ambas.

Tabla 17. Funciones del sistema y fallas funcionales

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad Funciones del sistema y fallas funcionales		Información Formulación de las funciones del sistema y las fallas funcionales	
Planta Esmaltados	Sistema Mesa de desbobinado	Subsistema Empalme	
Analista Alfredo Emir Gordillo Betancourt			Fecha 10/05/2012

Función	Falla funcional	Descripción función/falla funcional
F1.0		<i>Ascender subsistema de empalme a su posición de operación cuando la bobina por terminar alcance su diámetro de empalme</i>
	F1.1	Instalación de empalme no asciende a su posición de operación
	F1.2	Instalación de empalme asciende parcialmente a su posición de operación
	F1.3	Instalación de empalme asciende antes de que la bobina por terminar alcance su diámetro de empalme
	F1.4	Instalación de empalme asciende después de que la bobina por terminar alcance su diámetro de empalme
F2.0		<i>Descender instalación de empalme a su posición de descanso cuando la bobina entrante alcance su diámetro de entrega</i>
	F2.1	Instalación de empalme no desciende a su posición de descanso
	F2.2	Instalación de empalme desciende parcialmente a su posición de descanso
	F2.3	Instalación de empalme desciende antes de que la bobina entrante alcance su diámetro de entrega
	F2.4	Instalación de empalme desciende después de que la bobina entrante alcance su diámetro de entrega
F3.0		<i>Soportar el rodillo empalmador durante la operación de empalme</i>
	F3.1	Instalación de apoyo no el soporta rodillo empalmador durante la operación de empalme
	F3.2	Instalación de apoyo soporta el rodillo empalmador parcialmente durante la operación de empalme
	F3.3	Instalación de apoyo soporta el rodillo empalmador antes de la operación de empalme
	F3.4	Instalación de apoyo soporta el rodillo empalmador después de la operación de empalme

Tabla 17. Continuación

Función	Falla funcional	Descripción función/falla funcional
F4.0		Adherir banda de papel por terminar al punto de empalme de la bobina entrante cuando la bobina por terminar alcance su diámetro de empalme
	F4.1	Instalación de empalme no adhiere banda de papel por terminar al punto de empalme de la bobina entrante cuando la primera alcance su diámetro de empalme
	F4.2	Instalación de empalme adhiere parcialmente banda de papel por terminar al punto de empalme de la bobina entrante cuando la primera alcance su diámetro de empalme
	F4.3	Instalación de empalme acerca banda de papel por terminar al punto de empalme de la bobina entrante antes de que la primera alcance su diámetro de empalme
	F4.4	Instalación de empalme acerca banda de papel por terminar al punto de empalme de la bobina entrante después de que la primera alcance su diámetro de empalme
	F4.5	Instalación de empalme acerca banda de papel por terminar a otro punto diferente al de empalme de la bobina entrante cuando la primera alcance su diámetro de empalme
F5.0		Cortar banda de papel por terminar después de la operación de empalme
	F5.1	Instalación de corte no corta la banda de papel por terminar después de la operación de empalme
	F5.2	Instalación de corte corta parcialmente la banda de papel por terminar después de la operación de empalme
	F5.3	Instalación de corte corta la banda de papel por terminar antes de la operación de empalme

6.5 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y JERARQUÍA DE FALLAS POTENCIALES

El análisis de modos, efectos y jerarquías de fallas potenciales inicia completando la relación equipo/falla funcional del formato de la tabla 8, esta última resulta de la combinación del listado de equipos y fallas funcionales de las tablas 15 y 17 respectivamente.

Los resultados de la tabla 18 demuestran que todos los equipos están relacionados con al menos una falla funcional y el 80% de ellos con dos o más;

por otra parte la falla funcional con mayor probabilidad de suceder es la *F4.2 Instalación de empalme adhiere parcialmente banda de papel por terminar al punto de empalme de la bobina entrante cuando la primera alcance su diámetro de empalme*, que en realidad es la de mayor ocurrencia dada por el diagrama de Pareto de la figura 2.

Continuando, la tabla 19 representa el principal estudio del proceso de análisis, dado que aquí se identifican, específicamente, tanto los modos como los efectos de falla de cada equipo en las intersecciones de la tabla 18, estos últimos analizados con el árbol de selección de tareas de mantenimiento de la figura 2 se clasificaron, en cuatro categorías según, para finalmente completar el panorama operacional del sistema; dando como resultado que de 118 modos de falla analizados, 104 son evidentes, en tanto que 16 y 106 de ellos tienen consecuencias sobre la seguridad y operación respectivamente, mientras que ninguno implica perjuicios ambientales.

Tabla 18. Relación equipo/falla funcional

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad Análisis de modos y efectos de fallas potenciales		Información Relación equipo/falla funcional	
Planta Esmaltados	Sistema Mesa de desbobinado	Subsistema Empalme	
Analista Alfredo Emir Gordillo Betancourt		Fecha 24/05/2012	

Equipo		Falla funcional																			
		F1.1	F1.2	F1.3	F1.4	F2.1	F2.2	F2.3	F2.4	F3.1	F3.2	F3.3	F3.4	F4.1	F4.2	F4.3	F4.4	F4.5	F5.1	F5.2	F5.3
1.1	Motor de ascenso y descenso	X	X	X	F1.2	F1.1	F1.2	F1.3	F1.2					X							
1.2	Reductor	X	X		F1.2	F1.1	F1.2		F1.2					F1.2							
1.3	Cardán	X	X			F1.1	F1.2							F1.2							
1.4	Engranaje cónico 90°	X	X		F1.2	F1.1	F1.2		F1.2					F1.2							
1.5	Husillo	X	X		F1.2	F1.1	F1.2		F1.2					X							
1.6	Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de descanso"					X	F2.1														
1.7	Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de empalme"	X	F1.1											F1.1	F1.1						

Tabla 18. Continuación

		Falla funcional																			
Equipo		F1.1	F1.2	F1.3	F1.4	F2.1	F2.2	F2.3	F2.4	F3.1	F3.2	F3.3	F3.4	F4.1	F4.2	F4.3	F4.4	F4.5	F5.1	F5.2	F5.3
1.8	Interruptor de aproximación "Presencia de bobina sobre el Subsistema de desbobinado 1"			X	F1.3									F1.3	F1.3						
1.9	Interruptor de aproximación "Sincronización de los husillos"	X	F1.1			F1.1	F1.1														
1.10	Célula fotoeléctrica "Diámetro de la bobina sobre el Subsistema de desbobinado 1"			X	F1.3			F1.3	F1.3					F1.3	F1.3						
2.1	Válvula reguladora de presión									X	F3.1				F3.1						
2.2	Válvula magnética 3/2 vías									X		F3.1	F3.1		F3.1						
2.3	Válvula estranguladora de retención									X	F3.1				F3.1						
2.4	Actuador									X	X		F3.2		F3.2						
2.5	Válvula de descarga rápida									X	F3.1	F3.1	F3.1		F3.1						
2.6	Mecanismo de palancas									X	X				F3.2						
2.7	Rollo de apoyo										X				F3.2						
2.8	Interruptor de aproximación "Rollo de apoyo en posición de empalme"									X	F3.1		F3.1		F3.1						

Tabla 18. Continuación

		Falla funcional																			
Equipo		F1.1	F1.2	F1.3	F1.4	F2.1	F2.2	F2.3	F2.4	F3.1	F3.2	F3.3	F3.4	F4.1	F4.2	F4.3	F4.4	F4.5	F5.1	F5.2	F5.3
2.9	Interruptor de aproximación "Rollos de apoyo en posición de descanso"					X		F2.1	F2.1	F2.1					F2.1						
3.1	Válvula reguladora de presión													X	F4.1	F4.1	F4.1	F4.1			
3.2	Válvula magnética 3/2 vías															X	F4.3	F4.3			
3.3	Válvula estranguladora de retención													X	F4.1	F4.1	F4.1	F4.1			
3.4	Actuador													X	X		F4.2	F4.2			
3.5	Válvula de descarga rápida													X	F4.1	F4.1	F4.1	F4.1			
3.6	Mecanismo de palancas													X	X		F4.2	F4.2			
3.7	Motor de velocidad variable														X						
3.8	Cardán motor de velocidad variable														X						
3.9	Correa de transmisión														X						
3.10	Rodillo empalmador														X						
3.11	Rodillo guía																				
3.12	Palanca giratoria																				
3.13	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de empalme"													X	F4.1				F4.1		
3.14	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de descanso"					X		F2.1	F2.1					F2.1					F2.1		F2.1

Tabla 18. Continuación

		Falla funcional																			
Equipo		F1.1	F1.2	F1.3	F1.4	F2.1	F2.2	F2.3	F2.4	F3.1	F3.2	F3.3	F3.4	F4.1	F4.2	F4.3	F4.4	F4.5	F5.1	F5.2	F5.3
3.15	Barrera de luz "Bobina delante de rodillo de empalme"													X							
3.16	Célula fotoeléctrica "detección del punto de empalme"													X	F4.1			F4.1			
3.17	Célula fotoeléctrica "diámetro de la bobina sobre el Subsistema de desbobinado 2"													X	F4.1	F4.1	F4.1				
4.1	Válvula reguladora de presión																		X	F5.1	
4.2	Válvula magnética 3/2 vías																		X	F5.1	
4.3	Válvula estranguladora de retención																		X	F5.1	
4.4	Actuador																		X	X	
4.5	Válvula de descarga rápida																		X	F5.1	
4.6	Mecanismo de palancas																			X	
4.7	Cuchilla de corte																			X	
4.8	Interruptor aproximación "cuchilla en posición de corte"																		X	F5.1	
4.9	Interruptor aproximación "cuchilla en posición de descanso"					X		F2.1	F2.1										F2.1		

Tabla 19. Análisis de modos, efectos y jerarquías de fallas potenciales

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad Análisis de modos, efectos y jerarquías de fallas potenciales		Información Análisis de modos y efectos de falla	
Planta Esmaltados	Sistema Mesa de desbobinado		Subsistema Empalme
Analista Alfredo Emir Gordillo Betancourt			Fecha 08/06/2012

Falla funcional	Equipo		Modo de falla		Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F1.1	1.1	Motor de ascenso y descenso	1.1.1	Devanado abierto	Motor no arranca	SI	SI	NO	NO	SI
				Devanado en cortocircuito	Chispeo en las escobillas					
			1.1.2	Rodamiento desgastado: Astillamiento deslizamiento o patinamiento	Motor aferrado Ruido	SI	SI	NO	NO	SI
			1.1.3	Alojamiento agrietado	Cortocircuito Motor aferrado	SI	SI	SI	NO	NO
	1.2	Reductor	1.1.4	Escobillas desgastadas Escobillas fallan al abrir	Chispeo excesivo Ruido de traqueteo o silbido Motor no arranca	SI	SI	NO	NO	SI
			1.2.2	Diente cizallado	Falla del diente	SI	SI	NO	NO	SI
			1.2.6	Diente fatigado por flexión						
	1.3	Cardán	1.3.1	Eje pasador cizallado	Pérdida total de la transmisión	SI	SI	SI	NO	NO

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F1.1	1.3	Cardán	1.3.2	Eje pasador fatigado	Pérdida total de la transmisión	SI	SI	SI	NO	NO
			1.3.3	Rodamientos del eje fatigados	Equipo conducido bloqueado, daño inminente del motor	SI	SI	SI	NO	NO
	1.4	Engranaje cónico	1.4.2	Diente cizallado	Falla del diente	SI	SI	NO	NO	SI
			1.4.6	Diente fatigado por flexión						
	1.5	Husillo	1.5.1	Rodamiento bloqueado al husillo	La carga no puede ser movida	SI	SI	NO	NO	SI
			1.5.2	Eje del husillo estriado (rayado, arañado)	Falla eventual del husillo	SI	SI	NO	NO	SI
	1.7	Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de empalme"	1.7.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			1.7.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			1.7.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			1.7.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
	1.9	Interruptor de aproximación "Sincronización de los husillos"	1.9.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			1.9.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			1.9.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			1.9.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
F1.2	1.1	Motor de ascenso y descenso	1.1.1	Devanado abierto	Falla del motor	NO				
				Devanado en cortocircuito	Chispeo en las escobillas					

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F1.2	1.1	Motor de ascenso y descenso	1.1.2	Rodamiento desgastado: Astillamiento deslizamiento o patinamiento	Motor aferrado Ruido	NO				
			1.1.3	Alojamiento agrietado	Cortocircuito Motor aferrado	NO				
			1.1.5	Sobrecalentamiento del motor	Corta vida del motor Falla del motor	SI	SI	NO	NO	SI
			1.1.6	Falla de rodamientos	Operación ruidosa Falla del motor	SI	SI	NO	NO	SI
	1.2	Reductor	1.2.1	Picaduras	Daño superficial del diente	SI	NO	NO	NO	SI
			1.2.2	Diente cizallado	Falla del diente	NO				
			1.2.3	Rayadura superficial	Desgaste y falla eventual del diente	SI	NO	NO	NO	SI
			1.2.4	Deformación plástica	Daño superficial resultante en vibración, ruido y eventual falla	SI	SI	NO	NO	SI
			1.2.5	Astillamiento	Deterioro de la superficie de acoplamiento, soldadura, rozamiento, falla eventual del diente	SI	NO	NO	NO	SI
			1.2.6	Diente fatigado por flexión	Falla del diente	NO				
	1.3	Cardán	1.3.1	Eje pasador cizallado	Pérdida total de la transmisión	NO				
			1.3.2	Eje pasador fatigado	Pérdida total de la transmisión	NO				
			1.3.3	Rodamientos del eje fatigados	Equipo conducido bloqueado, daño inminente del motor	NO				

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F1.2	1.3	Cardán	1.3.4	Ejes pasadores flojos sobre el eje	Vibración excesiva en equipos adyacentes	SI	NO	SI	NO	SI
	1.4	Engranaje cónico	1.4.1	Picaduras	Daño superficial del diente	SI	NO	NO	NO	SI
			1.4.2	Diente cizallado	Falla del diente	NO				
			1.4.3	Rayadura superficial	Desgaste y falla eventual del diente	SI	NO	NO	NO	SI
			1.4.4	Deformación plástica	Daño superficial resultante en vibración, ruido y eventual falla	SI	SI	NO	NO	SI
			1.4.5	Astillamiento	Deterioro de la superficie de acoplamiento, soldadura, rozamiento, falla eventual del diente	SI	NO	NO	NO	SI
			1.4.6	Diente fatigado por flexión	Falla del diente	NO				
	1.5	Husillo	1.5.2	Eje del husillo estriado (rayado, arañado)	Falla eventual del husillo	NO				
			1.5.3	Desgaste de las roscas (filetes) del husillo	Operación inestable	SI	SI	NO	NO	SI
F1.3	1.1	Motor de ascenso y descenso	1.1.4	Escobillas desgastadas Escobillas fallan al abrir	Chispeo excesivo Ruido de traqueteo o silbido Motor no arranca	NO				
	1.8	Interruptor de aproximación "Presencia de bobina sobre el subsistema de desbobinado 1"	1.8.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			1.8.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			1.8.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			1.8.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional	Equipo	Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F1.3	1.10 Célula fotoeléctrica "Diámetro de la bobina sobre el subsistema de desbobinado 1"	1.10.1 Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
		1.10.2 Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
		1.10.3 Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
		1.10.4 Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
F2.1	1.6 Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de descanso"	1.6.1 Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
		1.6.2 Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
		1.6.3 Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
		1.6.4 Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
	2.9 Interruptor de aproximación "Rollos de apoyo en posición de descanso"	2.9.1 Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
		2.9.2 Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
		2.9.3 Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
		2.9.4 Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
	3.14 Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de descanso"	3.14.1 Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
		3.14.2 Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
		3.14.3 Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F2.1	3.14	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de descanso"	3.14.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
	4.9	Interruptor aproximación "cuchilla en posición de descanso"	4.9.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			4.9.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			4.9.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			4.9.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
F3.1	2.1	Válvula reguladora de presión	2.1.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			2.1.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			2.1.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	2.2	Válvula magnética 3/2 vías	2.2.1	Fuga interna	Carrete/manguito desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			2.2.2	Respuesta pobre	Obstrucción del ensamblaje de la válvula	SI	SI	NO	NO	SI
			2.2.3	Fuga externa	Sello o empaquetadura desgastadas	SI	SI	NO	NO	SI
			2.2.4	Puerto de la válvula falla al abrir	Obstrucción del ensamblaje de la válvula	SI	SI	NO	NO	SI
	2.3	Válvula estranguladora de retención	2.3.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			2.3.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			2.3.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F3.1	2.4	Actuador	2.4.1	Fuga interna	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	SI	SI	NO	NO	SI
			2.4.2	Fuga externa	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	SI	SI	NO	NO	SI
	2.5	Válvula de descarga rápida	2.5.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			2.5.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			2.5.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	2.6	Mecanismo de palancas	2.6.1	Revestimiento dañado	Eventual falla del mecanismo	SI	SI	NO	NO	SI
			2.6.2	Mecanismo ruidoso	Eventual falla del mecanismo	SI	SI	NO	NO	SI
	2.8	Interruptor de aproximación "Rollos de apoyo en posición de empalme"	2.8.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			2.8.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			2.8.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			2.8.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
F3.2	2.4	Actuador	2.4.1	Fuga interna	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	NO				
			2.4.2	Fuga externa	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	NO				
	2.6	Mecanismo de palancas	2.6.1	Revestimiento dañado	Eventual falla del mecanismo	NO				
			2.6.2	Mecanismo ruidoso	Eventual falla del mecanismo	NO				
			2.6.3	Pasador flojo	Pieza suelta en el eje	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F3.2	2.6	Mecanismo de palancas	2.6.4	Pasador dañado	Desalineamiento de partes	SI	SI	NO	NO	SI
	2.7	Rollo de apoyo	2.7.1	Rollo flectado	Fallo de un componente montado al eje	SI	NO	NO	NO	SI
			2.7.2	Rotación inestable	Fatiga del eje y ruptura	SI	NO	NO	NO	SI
			2.7.3	Rotación desigual	Fallo de un componente montado al eje	SI	NO	NO	NO	SI
F4.1	1.1	Motor de ascenso y descenso	1.1.1	Devanado abierto	Motor no arranca	NO				
				Devanado en cortocircuito	Chispeo en las escobillas					
			1.1.2	Rodamiento desgastado:	Motor aferrado	NO				
				Astillamiento deslizamiento o patinamiento	Ruido					
			1.1.3	Alojamiento agrietado	Cortocircuito	NO				
					Motor aferrado					
			1.1.4	Escobillas desgastadas	Chispeo excesivo	NO				
				Escobillas fallan al abrir	Ruido de traqueteo o silbido					
	1.5	Husillo	1.5.1	Rodamiento bloqueado al husillo	La carga no puede ser movida	NO				
					Falla eventual del husillo	NO				
					Operación inestable	NO				
	3.1	Válvula reguladora de presión	3.1.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			3.1.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F4.1	3.1	Válvula reguladora de presión	3.1.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	3.3	Válvula estranguladora de retención	3.3.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			3.3.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			3.3.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	3.4	Actuador	3.4.1	Fuga interna	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	SI	SI	NO	NO	SI
			3.4.2	Fuga externa	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	SI	SI	NO	NO	SI
	3.5	Válvula de descarga rápida	3.5.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			3.5.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			2.5.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	3.6	Mecanismo de palancas	3.6.1	Revestimiento dañado	Eventual falla del mecanismo	SI	SI	NO	NO	SI
			3.6.2	Mecanismo ruidoso	Eventual falla del mecanismo	SI	SI	NO	NO	SI
	3.13	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de empalme"	3.13.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			3.13.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.13.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.13.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
	3.15	Barrera de luz "Bobina delante de rodillo de empalme"	3.15.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F4.1	3.15	Barrera de luz "Bobina delante de rodillo de empalme"	3.15.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.15.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.15.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
	3.16	Célula fotoeléctrica "detección del punto de empalme"	3.16.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			3.16.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.16.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.16.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
	3.17	Célula fotoeléctrica "diámetro de la bobina sobre el subsistema de desbobinado 2"	3.17.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			3.17.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.17.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			3.17.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
F4.2	3.4	Actuador	3.4.1	Fuga interna	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	NO				
			3.4.2	Fuga externa	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	NO				
	3.6	Mecanismo de palancas	3.6.1	Revestimiento dañado	Eventual falla del mecanismo	NO				
			3.6.2	Mecanismo ruidoso	Eventual falla del mecanismo	NO				
			3.6.3	Pasador flojo	Pieza suelta en el eje	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F4.2	3.6	Mecanismo de palancas	3.6.4	Pasador dañado	Desalineamiento de partes	SI	SI	NO	NO	SI
	3.7	Motor de velocidad variable	3.7.1	Devanado abierto	Motor no arranca	SI	SI	NO	NO	SI
				Devanado en cortocircuito	Chispeo en las escobillas					
			3.7.2	Rodamiento desgastado:	Motor aferrado	SI	SI	NO	NO	SI
				Astillamiento deslizamiento o patinamiento	Ruido					
			3.7.3	Alojamiento agrietado	Cortocircuito	SI	SI	SI	NO	NO
					Motor aferrado					
			3.7.4	Escobillas desgastadas	Chispeo excesivo	SI	SI	NO	NO	SI
				Escobillas fallan al abrir	Ruido de traqueteo o silbido					
			3.7.5	Sobrecalentamiento del motor	Corta vida del motor	SI	SI	NO	NO	SI
					Falla del motor					
			3.7.6	Falla de rodamientos	Operación ruidosa	SI	SI	NO	NO	SI
					Falla del motor					
	3.8	Cardán motor de velocidad variable	3.8.1	Eje pasador cizallado	Pérdida total de la transmisión	SI	SI	SI	NO	NO
			3.8.2	Eje pasador fatigado	Pérdida total de la transmisión	SI	SI	SI	NO	NO
			3.8.3	Rodamientos del eje fatigados	Equipo conducido bloqueado, daño inminente del motor	SI	SI	SI	NO	NO
			3.8.4	Ejes pasadores flojos sobre el eje	Vibración excesiva en equipos adyacentes	SI	NO	SI	NO	SI
	3.9	Correa de transmisión	3.9.1	Tensión de operación inadecuada	Falla de la correa	SI	SI	SI	NO	SI
			3.9.2	Desalineamiento de la polea/garganta	Agrietamiento lateral y falla de la correa	SI	SI	SI	NO	SI
			3.9.3	Correa y polea/garganta desgastadas	Falla prematura de la correa	SI	SI	SI	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F4.2	3.9	Correa de transmisión	3.9.4	Tasa normal de desgaste	Eventual falla de la correa	SI	SI	SI	NO	SI
			3.9.5	Operación de la correa inadecuada	Agrietamiento lateral y falla de la correa	SI	SI	SI	NO	SI
	3.10	Rodillo empalmador	3.10.1	Rollo flectado	Fallo de un componente montado al eje	SI	NO	NO	NO	SI
			3.10.2	Rotación inestable	Fatiga del eje y ruptura	SI	NO	NO	NO	SI
			3.10.3	Rotación desigual	Fallo de un componente montado al eje	SI	NO	NO	NO	SI
F4.3	3.2	Válvula magnética 3/2 vías	3.2.1	Fuga interna	Carrete/manguito desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			3.2.2	Respuesta pobre	Obstrucción del ensamblaje de la válvula	SI	SI	NO	NO	SI
			3.2.3	Fuga externa	Sello o empaquetadura desgastadas	SI	SI	NO	NO	SI
			3.2.4	Puerto de la válvula falla al abrir	Obstrucción del ensamblaje de la válvula	SI	SI	NO	NO	SI
F5.1	4.1	Válvula reguladora de presión	4.1.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			4.1.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			4.1.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	4.2	Válvula magnética 3/2 vías	4.2.1	Fuga interna	Carrete/manguito desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			4.2.2	Respuesta pobre	Obstrucción del ensamblaje de la válvula	SI	SI	NO	NO	SI
			4.2.3	Fuga externa	Sello o empaquetadura desgastadas	SI	SI	NO	NO	SI
			4.2.4	Puerto de la válvula falla al abrir	Obstrucción del ensamblaje de la válvula	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F5.1	4.3	Válvula estranguladora de retención	4.3.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			4.3.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			4.3.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	4.4	Actuador	4.4.1	Fuga interna	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	SI	SI	NO	NO	SI
			4.4.2	Fuga externa	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	SI	SI	NO	NO	SI
	4.5	Válvula de descarga rápida	4.5.1	Fuga interna	Cabezal/asiento desgastado	SI	SI	NO	NO	SI
			4.5.2	Respuesta pobre	Atascamiento/obstrucción del ensamblaje del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
			4.5.3	Fuga externa	Desgaste del vástago del cabezal	SI	SI	NO	NO	SI
	4.8	Interruptor aproximación "cuchilla en posición de corte"	4.8.1	Señal incorrecta del sensor	Potencial error de procesamiento	NO				
			4.8.2	Pérdida de señal del sensor	Pérdida de señal al procesador	NO				
			4.8.3	Pérdida completa de señal en la línea de transmisión	Pérdida de señal al procesador	NO				
			4.8.4	Error de señal en la línea de transmisión	Potencial error de procesamiento	SI	SI	NO	NO	SI
F5.2	4.4	Actuador	4.4.1	Fuga interna	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	NO				
			4.4.2	Fuga externa	Pérdida/reducción en la fuerza de salida	NO				
	4.6	Mecanismo de palancas	4.6.1	Revestimiento dañado	Eventual falla del mecanismo	SI	SI	NO	NO	SI
			4.6.2	Mecanismo ruidoso	Eventual falla del mecanismo	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 19. Continuación

Falla funcional		Equipo		Modo de falla	Efecto de falla	JF	E	S	A	O
F5.2	4.6	Mecanismo de palancas	4.6.3	Pasador flojo	Pieza suelta en el eje	SI	SI	NO	NO	SI
			4.6.4	Pasador dañado	Desalineamiento de partes	SI	SI	NO	NO	SI
	4.7	Cuchilla de corte	4.7.1	Redondeo de los dientes	Pérdida de capacidad de corte	SI	SI	NO	NO	SI
			4.7.2	Desalineamiento de la cuchilla	Cuchilla flectada	SI	SI	NO	NO	SI
			4.7.3	Desgaste de la dientes de la cuchilla	Fragilización	SI	SI	SI	NO	SI

6.6 SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Todas las causas de falla fueron analizadas bajo el procedimiento de selección de tareas de mantenimiento de la figura 2, la periodicidad propuesta es estimada según la experiencia del personal operativo y de manteamiento, junto con recomendaciones de los fabricantes dada la ausencia de datos confiables para conocer el tiempo óptimo según la condición de cada equipo.

Tabla 20. Selección de las tareas de mantenimiento

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Actividad Selección de las tareas de mantenimiento		Información Tareas de mantenimiento	
Planta Esmaltados	Sistema Mesa de desbobinado	Subsistema Empalme	
Analista Alfredo Emir Gordillo Betancourt		Fecha 12/07/2012	

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F1.1	1.1	Motor de ascenso y descenso	1.1.1	1.1.1.1	Ruptura del aislamiento	NO	NO	Medición de resistencia de bobinas	8000
				1.1.1.2	Acumulación de suciedad en los ventiladores de refrigeración	NO	NO	Mantenimiento autónomo	8
				1.1.1.3	Vibración	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			1.1.2	1.1.2.1	Problema de lubricación	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
						Termografía	NO	NO	1000
			1.1.3	1.1.3.1	Fatiga	NO	NO	Magnaglo	8000
				1.1.3.2	Vibración	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			1.1.4	1.1.4.1	Contaminación	NO	Cambio de escobillas y resorte	NO	4000
				1.1.4.2	Presión de contacto inadecuada				

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F1.1	1.2	Reductor	1.2.2	1.2.3.1	Fractura	Tribología	NO	NO	8000
			1.2.6	1.2.6.1	Fatiga en la superficie de contacto	Tribología	NO	NO	8000
	1.3	Cardán	1.3.1	1.3.1.1	Sobrecarga de impacto torsional	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			1.3.2	1.3.2.1	Vibración torsional	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			1.3.3	1.3.3.1	Falla del lubricante	Tribología	NO	NO	8000
	1.4	Engranaje cónico 90°	1.4.2	1.4.2.1	Fractura	Tribología	NO	NO	8000
			1.4.6	1.4.6.1	Fatiga en la superficie de contacto	Tribología	NO	NO	8000
	1.5	Husillo	1.5.1	1.5.1.1	Pérdida de lubricación	Tribología	NO	Inspección visual del fuelle con linterna en especial en los extremos	8000
			1.5.2	1.5.2.1	Desalineamiento	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
	1.7	Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de empalme"	1.7.4	1.7.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	1.9	Interruptor de aproximación "Sincronización de los husillos"	1.9.4	1.9.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F1.1	1.1	Motor de ascenso y descenso	1.1.5	1.1.5.1	Ventilador roto	Análisis de vibraciones	NO	Revisión de la conexión del eje del motor y los álabes	8000
			1.1.6	1.1.6.1	Desalineamiento del eje	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
				1.1.6.2	Rodamientos desgastados				
	1.2	Reductor	1.2.1	1.2.1.1	Esfuerzo de Contacto cíclico transmitido a través de la película lubricante	Tribología	NO	NO	8000
			1.2.4	1.2.4.1	Carga y fluencia superficial	Tribología	NO	NO	8000
			1.2.5	1.2.5.1	Fatiga	Tribología	NO	NO	8000
	1.3	Cardán	1.3.4	1.3.4.1	Sobrecarga de impacto torsional	NO	NO	Análisis con tintas penetrantes y magnaglo	8000
	1.4	Engranaje cónico 90°	1.4.1	1.4.1.1	Esfuerzo de Contacto cíclico transmitido a través de la película lubricante	Tribología	NO	NO	8000
			1.4.3	1.4.3.1	Avería del lubricante	Tribología	NO	NO	8000
			1.4.4	1.4.4.1	Carga y fluencia superficial	Tribología	NO	NO	8000
			1.4.5	1.4.5.1	Fatiga	Tribología	NO	NO	8000

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F1.1	1.5	Husillo	1.5.3	1.5.3.1	Contaminantes externos	Tribología	NO	Inspección visual del fuelle con linterna en especial en los extremos	8000
	1.8	Interruptor de aproximación "Presencia de bobina sobre el Subsistema de desbobinado 1"	1.8.4	1.8.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	1.10	Célula fotoeléctrica "Diámetro de la bobina sobre el Subsistema de desbobinado 1"	1.10.4	1.10.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	1.6	Interruptor de aproximación "Instalación de empalme en posición de descanso"	1.6.4	1.6.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	2.9	Interruptor de aproximación "Rollo de apoyo en posición de descanso"	2.9.4	2.9.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F1.1	3.14	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de descanso"	3.14.4	3.14.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	4.9	Interruptor aproximación "cuchilla en posición de descanso"	4.9.4	4.9.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
F3.1	2.1	Válvula reguladora de presión	2.1.1	2.1.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			2.1.2	2.1.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				2.1.2.2	Contaminantes				
			2.1.3	2.1.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	2.2	Válvula magnética 3/2 vías	2.2.1	2.2.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
				2.2.1.2	Carga transversal	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
			2.2.2	2.2.2.1	Carga transversal	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				2.2.2.2	Presión de resorte incorrecta				
				2.2.2.3	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			2.2.3	2.2.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	2.2	Válvula magnética 3/2 vías	2.2.4	2.2.4.1	Carga transversal excesiva	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				2.2.4.2	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
	2.3	Válvula estranguladora de retención	2.3.1	2.3.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
				2.3.2	2.3.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste
				2.3.2.2	Contaminantes				
			2.3.3	2.3.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	2.4	Actuador	2.4.1	2.4.1.1	Contaminantes traspasaron el sello del vástago	NO	Cambio de o 'ring	Revisión del estado interno de la cámara	4000
						NO	NO	Inspección de fugas con medidor de decibelios	1000
			2.4.2	2.4.2.1	Fuga del sello	NO	NO	Medición del diámetro stem	8000
				2.4.2.2	Desgaste del pistón/cilindro				
	2.5	Válvula de descarga rápida	2.5.1	2.5.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			2.5.2	2.5.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				2.5.2.2	Contaminantes				
			2.5.3	2.5.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
	2.6	Mecanismo de palancas	2.6.1	2.6.1.1	Corrosión	NO	NO	Inspección visual	500

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	2.6	Mecanismo de palancas	2.6.1	2.6.1.1	Corrosión	NO	NO	Análisis con tintas penetrantes	8000
			2.6.2	2.6.2.1	Contaminantes	NO	NO	Inspección visual	500
				2.6.2.2	Pérdida de lubricación	NO	Lubricación de los pasadores	NO	500
						NO	NO	Medición de los diámetros de los pasadores	8000
	2.8	Interruptor de aproximación "Rollo de apoyo en posición de empalme"	2.8.4	2.8.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
			2.6.3	2.6.3.1	Agujeros ensanchados	NO	NO	Medición de los diámetros de los pasadores	8000
			2.6.4	2.6.4.1	Impacto	NO	NO	Análisis de tintas penetrantes en los pasadores y el alojamiento	8000
				2.6.4.2	Vibración				
	2.7	Rollo de apoyo	2.7.1	2.7.1.1	Esfuerzo flectante	NO	NO	Inspección visual de giro	500

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	2.7	Rollo de apoyo	2.7.2	2.7.2.1	Vibración	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
						NO	NO	Revisión de giro con comparador de carátula	4000
			2.7.3	2.7.3.1	Montura del ensamblaje floja	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
						NO	NO	Inspección visual	500
	3.1	Válvula reguladora de presión	3.1.1	3.1.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
						NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
						NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	3.3	Válvula estranguladora de retención	3.3.1	3.3.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			3.3.2	3.3.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				3.3.2.2	Contaminantes				
			3.3.3	3.3.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
	3.4	Actuador	3.4.1	3.4.1.1	Contaminantes traspasaron el sello del vástago	NO	Cambio de o 'ring	Revisión del estado interno de la cámara	4000
						NO	NO	Inspección de fugas con medidor de decibelios	1000
			3.4.2	3.4.2.1	Fuga del sello	NO	NO	Medición del diámetro stem	8000
				3.4.2.2	Desgaste del pistón/cilindro				

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	3.5	Válvula de descarga rápida	3.5.1	3.5.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			3.5.2	3.5.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				3.5.2.2	Contaminantes				
			2.5.3	2.5.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
	3.6	Mecanismo de palancas	3.6.1	3.6.1.1	Corrosión	NO	NO	Inspección visual	500
						NO	NO	Análisis con tintas penetrantes	8000
			3.6.2	3.6.2.1	Contaminantes	NO	NO	Inspección visual	500
				3.6.2.2	Pérdida de lubricación	NO	Lubricación de los pasadores	NO	500

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	3.6	Mecanismo de palancas	3.6.2	3.6.2.2	Pérdida de lubricación	NO	NO	Medición de los diámetros de los pasadores	8000
	3.13	Interruptor de aproximación "Rodillo de empalme en posición de empalme"	3.13.4	3.13.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	3.15	Barrera de luz "Bobina delante de rodillo de empalme"	3.15.4	3.15.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	3.16	Célula fotoeléctrica "detección del punto de empalme"	3.16.4	3.16.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	3.17	Célula fotoeléctrica "diámetro de la bobina sobre el Subsistema de desbobinado 2"	3.17.4	3.17.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	3.6	Mecanismo de palancas	3.6.3	3.6.3.1	Agujeros ensanchados	NO	NO	Medición de los diámetros de los pasadores	8000

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	3.6	Mecanismo de palancas	3.6.4	3.6.4.1	Impacto	NO	NO	Análisis de tintas penetrantes en los pasadores y el alojamiento	8000
				3.6.4.2	Vibración				
	3.7	Motor de velocidad variable	3.7.1	3.7.1.1	Ruptura del aislamiento	NO	NO	Medición de resistencia de bobinas	8000
				3.7.1.2	Acumulación de suciedad en los ventiladores de refrigeración	NO	NO	Mantenimiento autónomo	8
				3.7.1.3	Vibración	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			3.7.2	3.7.2.1	Problema de lubricación	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
						Termografía	NO	NO	1000
			3.7.3	3.7.3.1	Fatiga	NO	NO	Magnaglo	8000
				3.7.3.2	Vibración	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			3.7.4	3.7.4.1	Contaminación	NO	Cambio de escobillas y resorte	NO	4000
				3.7.4.2	Presión de contacto inadecuada				
			3.7.5	3.7.5.1	Ventilador roto	Análisis de vibraciones	NO	Revisión de la conexión del eje del motor y los álabes	8000
			3.7.6	3.7.6.1	Desalineamiento del eje	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
				3.7.6.2	Rodamientos desgastados				

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	3.8	Cardán motor de velocidad variable	3.8.1	3.8.1.1	Sobrecarga de impacto torsional	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			3.8.2	3.8.2.1	Vibración torsional	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
			3.8.3	3.8.3.1	Falla del lubricante	Tribología	NO	NO	8000
			3.8.4	3.8.4.1	Sobrecarga de impacto torsional	NO	NO	Análisis con tintas penetrantes y magnaglo	8000
	3.9	Correa de transmisión	3.9.1	3.9.1.1	Error de instalación	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
						NO	NO	Medición de tensión con galga	4000
			3.9.2	3.9.2.1	Error de instalación	NO	NO	Medición tensión con galga	4000
						NO	NO	Medición del diámetro de la polea	8000
			3.9.3	3.9.3.1	Fuerzas en el arranque o parada 10% mayores que las condiciones operativas	NO	NO	Medición tensión con galga	4000
						NO	NO	Medición del diámetro de la polea	8000
			3.9.4	3.9.4.1	Esfuerzos normales repetitivos	NO	NO	Medición de tensión con galga	4000

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F3.1	3.9	Correa de transmisión	3.9.5	3.9.5.1	Polea/garganta floja sobre el eje	NO	NO	Medición de tensión con galga	4000
	3.10	Rodillo empalmador	3.10.1	3.10.1.1	Esfuerzo flectante	NO	NO	Inspección visual de giro	500
			3.10.2	3.10.2.1	Vibración	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
						NO	NO	Revisión de giro con comparador de carátula	4000
			3.10.3	3.10.3.1	Montura del ensamblaje floja	Análisis de vibraciones	NO	NO	8000
						NO	NO	Inspección visual	500
F4.3	3.2	Válvula magnética 3/2 vías	3.2.1	3.2.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
				3.2.1.2	Carga transversal				
			3.2.2	3.2.2.1	Carga transversal	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				3.2.2.2	Presión de resorte incorrecta				

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F4.3	3.2	Válvula magnética 3/2 vías	3.2.2	3.2.2.3	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			3.2.3	3.2.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			3.2.4	3.2.4.1	Carga transversal excesiva	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				3.2.4.2	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F5.1	4.1	Válvula reguladora de presión	4.1.1	4.1.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			4.1.2	4.1.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				4.1.2.2	Contaminantes				
	4.2	Válvula magnética 3/2 vías	4.1.3	4.1.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			4.2.1	4.2.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
				4.2.1.2	Carga transversal				
			4.2.2	4.2.2.1	Carga transversal	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				4.2.2.2	Presión de resorte incorrecta				

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F5.1	4.2	Válvula magnética 3/2 vías	4.2.2	4.2.2.3	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			4.2.3	4.2.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			4.2.4	4.2.4.1	Carga transversal excesiva	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				4.2.4.2	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F5.1	4.3	Válvula estranguladora de retención	4.3.1	4.3.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			4.3.2	4.3.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				4.3.2.2	Contaminantes				
			4.3.3	4.3.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
	4.4	Actuador	4.4.1	4.4.1.1	Contaminantes traspasaron el sello del vástago	NO	Cambio de o 'ring	Revisión del estado interno de la cámara	4000
						NO	NO	Inspección de fugas con medidor de decibelios	1000
			4.4.2	4.4.2.1	Fuga del sello	NO	NO	Medición del diámetro stem	8000
				4.4.2.2	Desgaste del pistón/cilindro				

Tabla 20. continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F5.1	4.5	Válvula de descarga rápida	4.5.1	4.5.1.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			4.5.2	4.5.2.1	Presión de resorte incorrecta	NO	NO	Inspección de presión, caudal y punto de ajuste	4000
				4.5.2.2	Contaminantes				
			4.5.3	4.5.3.1	Contaminantes	NO	NO	Revisión del diferencial de presión en el filtro de protección al manifold de válvulas	8
			4.8.4	4.8.4.1	Interferencia en la línea de alimentación	Medición del voltaje y revisión de contaminación	NO	Verificación con la galga	4000
	4.6	Mecanismo de palancas	4.6.1	4.6.1.1	Corrosión	NO	NO	Inspección visual	500
NO						NO	Análisis con tintas penetrantes	8000	
4.6.2						4.6.2.1	Contaminantes	NO	NO

Tabla 20. Continuación

Falla funcional		Equipo	Modo de falla		Causa de falla	Monitoreo de condiciones	Restauración	Búsqueda de fallas	Frecuencia
F5.1	4.6	Mecanismo de palancas	4.6.2	4.6.2.2	Pérdida de lubricación	NO	Lubricación de los pasadores	NO	500
						NO	NO	Medición de los diámetros de los pasadores	8000
			4.6.3	4.6.3.1	Agujeros ensanchados	NO	NO	Medición de los diámetros de los pasadores	8000
			4.6.4	4.6.4.1	Impacto	NO	NO	Análisis de tintas penetrantes en los pasadores y el alojamiento	8000
				4.6.4.2	Vibración				
	4.7	Cuchilla de corte	4.7.1	4.7.1.1	Impacto	NO	NO	Revisión dimensional del perfil de la cuchilla	2000
			4.7.2	4.7.2.1	Tornillos de sujeción flojos	NO	NO	Revisión del torque de los tornillos de sujeción	500
			4.7.3	4.7.3.1	Tratamiento térmico defectuoso	NO	NO	Metalografía	8000
						NO	NO	Análisis con tintas penetrantes	8000

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El RCM otorga prioridad a la seguridad y las implicaciones ambientales de cada modo de falla, antes de considerar sus efectos sobre la operación. Asimismo, reconocer el valor de todos los tipos de mantenimiento y cumpliendo con las reglas para decidir cuál es más apropiado para cada situación, asegura que solo las prácticas de mantenimiento más efectivas fueron escogidas para cada equipo y que las acciones más apropiadas sean ejecutadas. Esto centra más estrechamente los esfuerzos de mantenimiento que llevan a una mejor operación de los equipos existentes.

En suma, la aplicación del proceso de análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, en el área de esmaltados de la empresa Carvajal Pulpa y Papel, aportó una base de datos formalizada y totalmente documentada de los requerimientos de mantenimiento de los equipos fundamentales, lo cual hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes sin considerar todas las políticas de mantenimiento desde cero.

Por otra parte, se recomienda seguimiento a la implementación de esta propuesta, y la eventual integración de conceptos de calidad y producción; en tanto que se sugiere cambiar la frecuencia de las tareas de mantenimiento basadas en horas de servicio, a mantenimiento basado en condiciones de operación y optimizar la medición de las variables de control de proceso; de la misma manera se advierte la necesidad de entrenamiento al personal, que mediante el uso del software de gestión de mantenimiento, genera la información sobre las fallas e intervenciones a los equipos.

BIBLIOGRAFIA

BARBOSA, Carlos. Manual MFO-50,2 Sub Face de alimentación y desbobinados en Carvajal Pulpa y Papel. Yumbo: Propal S.A.,: 2010. 128p.
MOUBRAY, John. Reliability centered maintenance. 2 ed. New York:Industrial Press inc. 1997. 440p.

GODOY, Hernando, MERCADO, Joanna. Guia de optimización de disponibilidad por mantenimiento de una máquina esmaltadora, caso de empresa productora de papel. Trabajo de grado para optar al título de Máster en administración de empresas con énfasis en gestión estratégica. Santiago de Cali: Universidad ICESI, facultad de ciencias administrativas y económicas, 2011. 49 p.

JONES, Tyrone L. *Handbook of Reliability Predictions Procedures for Mechanical Equipment*. West Bethesda, Maryland: Naval Surface Warfare Center, 2011.

SAE JA1011. *Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance*. 2002: The SAE G-11 supportability committee, s.f.

SAE JA1012. *A guide to the Reliability-Centered Maintenance RCM Standard*. 2009: The SAE G-11 supportability committee, s.f.

SCHOOMAKER, Peter J. Reliability-Centered Maintenance (RCM) for command, control, communications, computer, intelligence, surveillance, and reconnaissance (C4ISR) facilities. Washington, DC: Headquarters, Department of the army, 2006. 96p.

SMITH, Anthony y GLENN R. Hinchcliffe. RCM Gateway to world class maintenance. Burlington, USA: Elsevier Butterworth–Heinemann, 2004. 337p.

ANEXOS

Anexo A. Operación de la mesa de desbobinado

1. Acoplamiento 1 y 2 desembragados. Subsistema de desbobinado 1 en posición de carga, subsistema de desbobinado 2 en posición abajo, instalación de empalme en posición de descanso. Brazo colector en posición de descanso.
2. Cargar la bobina, embragar el acoplamiento 1, enhebrar la banda de papel. Conmutar el desbobinado a régimen de trabajo automático o bien semiautomático. Acelerar la máquina a velocidad de régimen.
3. Al haberse alcanzado el diámetro de entrega, el subsistema de desbobinado 1 se desplaza hacia la posición de entrega.
4. El subsistema de desbobinado 2 se desplaza hacia el punto de acoplamiento. El arrastrador del subsistema de desbobinado 2 se sincroniza y se embraga mediante el acoplamiento 2. Se transmite el tiro de la banda de papel al subsistema de desbobinado 2 y acoplamiento 1 se desembraga.
5. El subsistema de desbobinado 2 se desplaza a la posición de desbobinado. De este modo el subsistema de desbobinado 1 está libre y se mueve hacia la posición de carga. Se carga una nueva bobina y el acoplamiento 1 se embraga.
6. Con el mando "Preparar empalme" (a régimen de trabajo automático por medio del Synchromat, a régimen de trabajo semiautomático por medio de un pulsador) el subsistema de desbobinado 2 se mueve en posición de empalme (posición de entrega). El brazo colector desciende. La instalación de empalme se mueve a la posición de empalme.
7. Al trabajar a régimen semiautomático se gradúan los discos de mando para la detección del punto de empalme y la bobina se gira en posición de empalme. El diámetro de la bobina se introduce en el pupitre de mando. Al trabajar a régimen automático la bobina se gira con velocidad auxiliar. Una célula fotoeléctrica detecta el punto de empalme. El subsistema de desbobinado 1 se mueve a la posición de sincronización. Al trabajar a régimen automático se determina el diámetro durante el avance del subsistema de desbobinado mediante el controlado de impulsos. El generador de freno 1 sincroniza la nueva bobina. Los rollos de apoyo viran con presión reducida contra el rodillo de empalme. La lámpara indicadora "listo para empalmar".
8. Al trabajar a régimen semiautomático el proceso de empalme se activa, accionando el pulsador "empalmar". Al trabajar a régimen automático el proceso de empalme está activado por el Synchromat. El rodillo de empalme y los rollos de apoyo arriman la nueva bobina. La cuchilla separa la banda de papel que se está desbobinando. Se transmite el tiro de la banda al generador de freno 1. El generador de freno 2, con la asistencia de los frenos mecánicos, frena la bobina restante con un tiempo mínimo. El brazo colector sirve para coleccionar el papel restante que todavía se está desbobinando de la bobina de papel separada. Encontrándose la cuchilla en posición final superior, el rodillo de empalme y los rollos de apoyo se viran en posición de descanso. El generador de freno 2 rebobina la banda de papel separada. La cuchilla vira en posición de descanso.

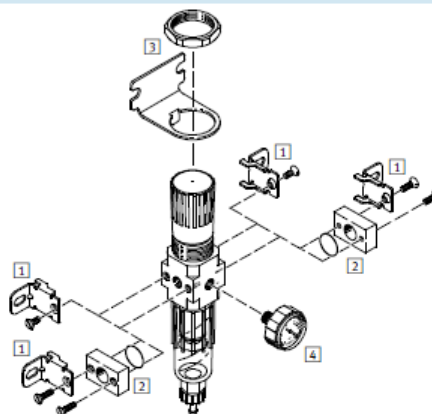
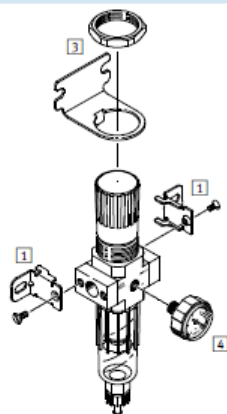
Anexo B. Detalles de los equipos

Válvula reguladora de presión

Micro

Individual unit with connection plates,
connection size G $\frac{1}{8}$, QS4 or QS6

Individual unit without connection plates, for service unit combination
connection size M5 or M7 in housing



Mounting attachments and accessories

	Individual unit with connection plates	Individual unit without connection plates	Combination with connection plates	Combination without connection plates	→ Page/ Internet
[1] Mounting bracket HFOE	■	■	■	■	hfoe-d
[2] Connecting plate kit PBL	-	■	-	■	pbl
[3] Mounting bracket HRS	■	■	■	■	hrs-d
[4] Pressure gauge MA-27	■	■	■	■	35

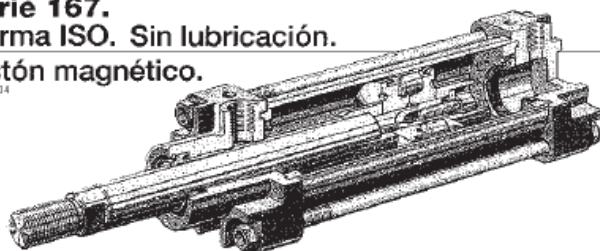
Actuador neumático

Serie 167.

Norma ISO. Sin lubricación.

Pistón magnético.

neumat3.4



Serie 167-58.

Cilindro con vástago antigiro.

Norma ISO. Sin lubricación.

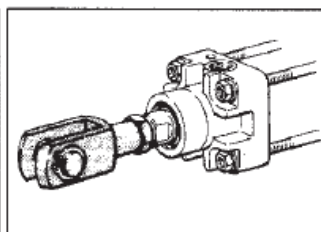
Pistón magnético.



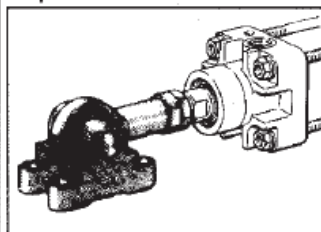
Diametro
Cilindros

25
32
40
50
63
80
100
125
160
200
250
320

32
40
50
63



Tipo 5



Tipo 10

Célula fotoeléctrica

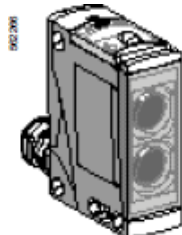


XU2 M18MA230

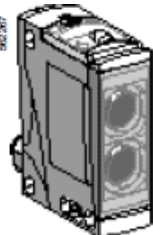
Sistema barrera (2)

Alcance nominal (Sn) m	Función	Línea de vista	Conexión	Referencia	Peso kg
15	NA (detección del objeto)	Detección axial	Cable (L = 2 m) (3)	XU2 M18MA230	0.285
	NC	Detección axial	Cable (L = 2 m) (3)	XU2 M18MB230	0.285

Barrera de luz



XUX 0ARCTT16

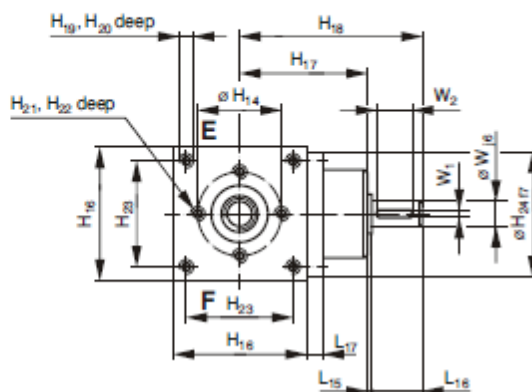
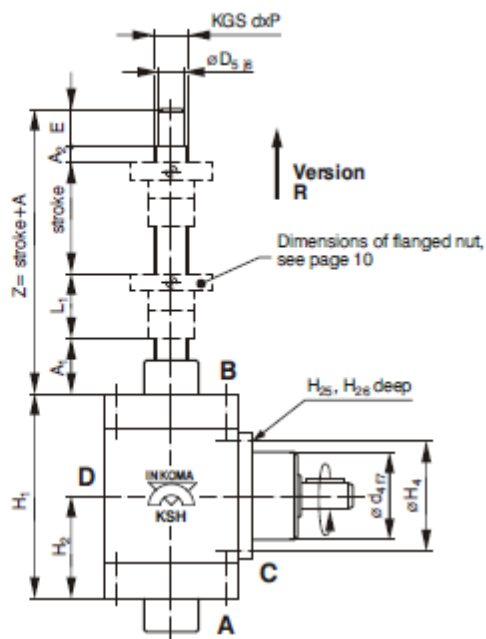
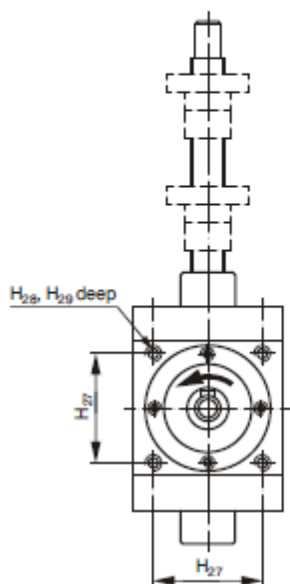


XUX 0AKSAM12

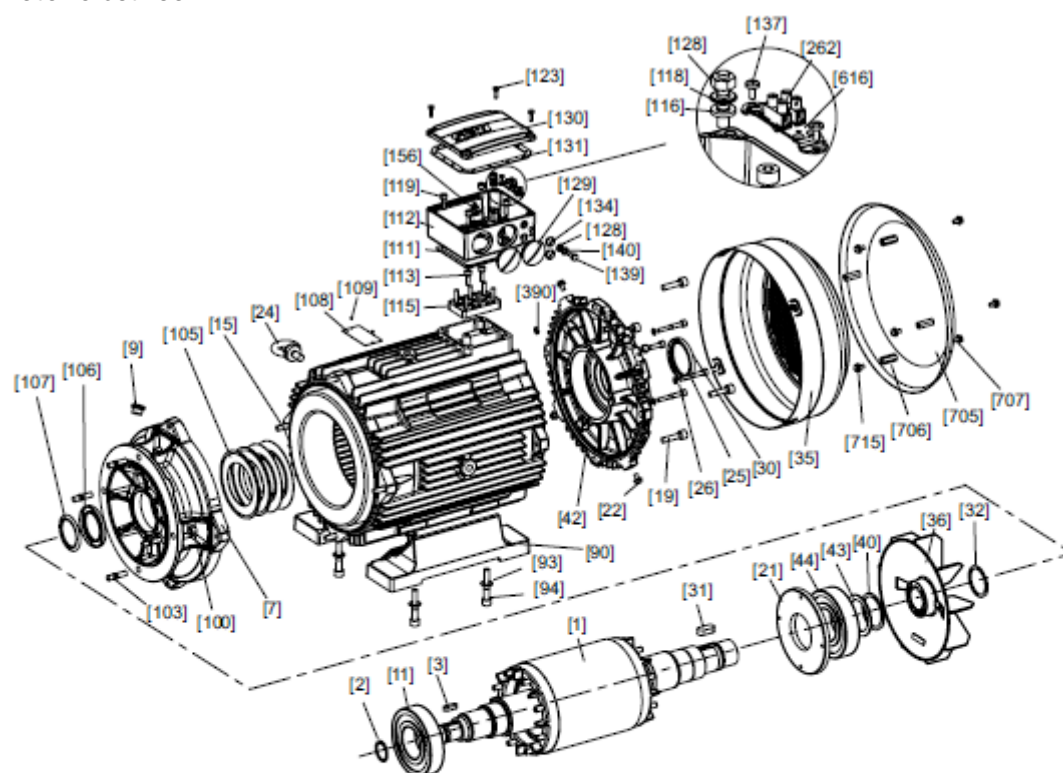
Referencias

Alcance nominal (Sn) m	Función	Salida	Conexión	Referencia	Peso kg
Alimentación c.c. 0...40 dependiendo de los accesorios usados	NA or NC usando programación OSIsense	PNP/NPN	Bornes con tornillo prensaestopa 16P (3) conector M12	XUX 0AKSAT16 XUX 0AKSAM12	0.200 0.200

Conjunto de husillo y engranaje cónico



Motor eléctrico



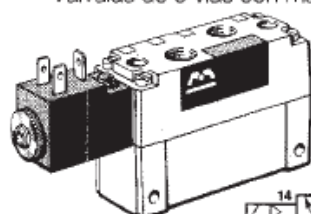
1077856395

[1] Rotor	[31] Chaveta	[107] Deflector de óleo	[132] Tampa da caixa de terminais
[2] Freio	[32] Freio	[108] Chapa de características	[134] Bujão
[3] Chaveta	[35] Guarda ventilador	[109] Contra-pino	[137] Parafuso
[7] Flange	[36] Ventilador	[111] Junta para parte inferior da caixa	[139] Parafuso sextavado
[9] Bujão	[40] Freio	[112] Parte inferior da caixa de terminais	[140] Arruela
[11] Rolamento de esferas	[42] Flange do motor (lado B)	[113] Parafuso de cabeça cilíndrica	[156] Placa de aviso
[15] Parafuso sextavado	[43] Anilha de encosto	[115] Placa de terminais	[219] Porca sextavada
[16] Estator	[44] Rolamento de esferas	[116] Arruela dentada	[262] Borne de ligação
[19] Parafuso de cabeça cilíndrica	[90] Pata	[117] Perno roscado	[390] Anel em O
[21] Flange do retentor	[93] Arruela	[118] Arruela	[616] Chapa de fixação
[22] Parafuso sextavado	[94] Parafuso de cabeça cilíndrica	[119] Parafuso de cabeça cilíndrica	[705] Chapéu de proteção
[24] Anel de suspensão para transporte	[100] Porca sextavada	[123] Parafuso sextavado	[706] Perno distanciador
[25] Parafuso de cabeça cilíndrica	[103] Perno roscado	[128] Arruela dentada	[707] Parafuso sextavado
[26] Anel de vedação	[105] Mola de disco	[129] Bujão	[715] Parafuso sextavado
[30] Retentor	[106] Retentor	[131] Junta para tampa da caixa	

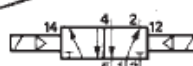
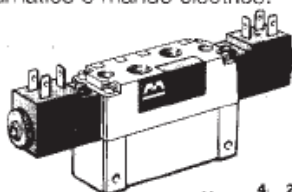
Válvulas solenoide

Válvulas Compact. Serie 585.

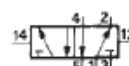
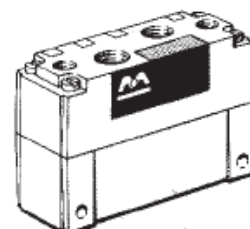
Válvulas de 5 vías con mando neumático o mando eléctrico.



Ref.
585 - 111 - 000 1/8
585 - 211 - 000 1/4



Ref.
585 - 122 - 000 1/8
585 - 222 - 000 1/4

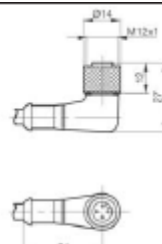
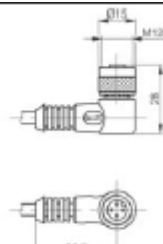
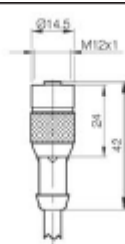
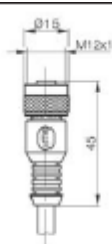


Ref.
585 - 113 - 000 1/8
585 - 213 - 000 1/4



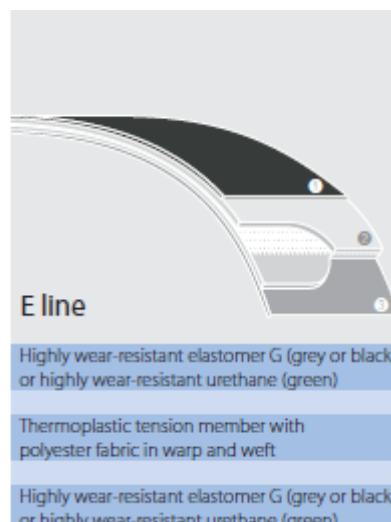
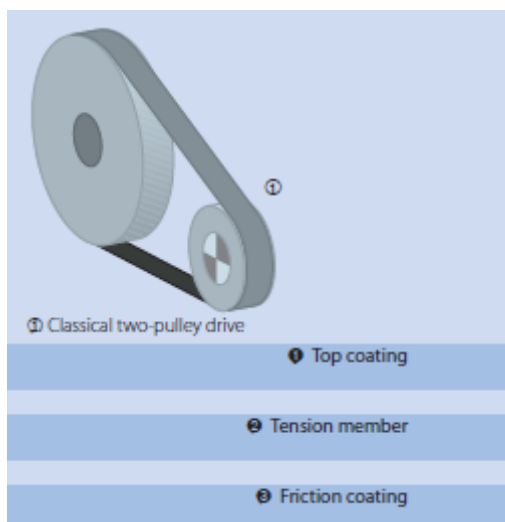
Ref.
585 - 123 - 000 1/8
585 - 223 - 000 1/4

Interruptor de aproximación



Bez LED, NO	BKS-B 19-1-__	BKS-S 19-1-__	BKS-B 20-1-__	BKS-S 20-1-__
Bez LED, NC			BKS-B 20-2-__	BKS-S 20-2-__
Bez LED, komplement	BKS-B 19-3-__	BKS-S 19-3-__	BKS-B 20-3-__	BKS-S 20-3-__
Sa LED, NO, PNP	BKS-B 19-4-__	BKS-S 19-4-__	BKS-B 20-4-__	BKS-S 20-4-__
Sa LED, NC, PNP			BKS-B 20-5-__	BKS-S 20-5-__
Sa LED, NO, NPN	BKS-B 19-6-__	BKS-S 19-6-__	BKS-B 20-6-__	BKS-S 20-6-__
Sa LED, NC, NPN			BKS-B 20-7-__	BKS-S 20-7-__
Sa LED, komp., PNP	BKS-B 19-8-__	BKS-S 19-8-__	BKS-B 20-8-__	BKS-S 20-8-__
Sa LED, komp., NPN	BKS-B 19-9-__	BKS-S 19-9-__	BKS-B 20-9-__	BKS-S 20-9-__
Sa 2 LED, com. PNP			BKS-B 20-10-__	BKS-S 20-10-__

Correa



Cardán



Hauptbauteile der Gelenkwelle

1. Flanschmitnehmer
2. Zapfenkreuz
3. Zapfenmitnehmer
4. Rohr
5. Nabenhülse
6. Wellenmitnehmer
7. Dichthülse vollständig

Main components of the cardan shafts

1. Flange yoke
2. Journal cross assembly
3. Tube yoke
4. Tube
5. Sliding muff
6. Yoke shaft
7. Cover tube assembly